

Docket No.: 50212-313

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Katsuya NAGAYAMA, et al.

Serial No.: 09/991,820

Filed: November 26, 2001

For: APPARATUS AND METHOD FOR MAKING OPTICAL FIBER



Group Art Unit: 2874

Examiner:

TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT

Honorable Commissioner for Patents and Trademarks
Washington, D. C. 20231

Sir:

At the time the above application was filed, priority was claimed based on the following applications:

Japanese Patent Application No. 11-289734, filed October 12, 1999

Japanese Patent Application No. 11-148153, filed May 27, 1999

A copy of each priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,

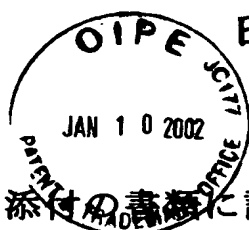
MCDERMOTT, WILL & EMERY

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "m/Steiner".

Arthur J. Steiner

Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:mlw
Date: January 10, 2002
Facsimile: (202) 756-8087



日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

50212-313
Katsuya NAGAYAMA et al.
09/991,820
November 26, 2001
McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

1999年 5月27日

出願番号

Application Number:

平成11年特許願第148153号

出願人

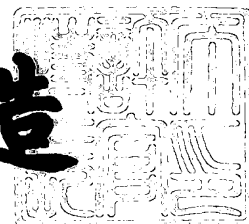
Applicant(s):

住友電気工業株式会社

2001年11月30日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3105060

【書類名】 特許願

【整理番号】 099Y0120

【提出日】 平成11年 5月27日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 C03B 37/027
G02B 6/00

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 大賀 裕一

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 齋藤 達彦

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 永山 勝也

【特許出願人】

 【識別番号】 000002130

 【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100088155

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

 【識別番号】 100089978

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9810286

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバの製造装置及び製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光ファイバ母材を加熱線引きし、線引きされた光ファイバを樹脂により被覆する光ファイバの製造装置であって、

所定の熱伝導率を有する第 1 ガスからなる雰囲気にて前記光ファイバ母材を加熱線引きする線引き炉と、

前記線引きされた光ファイバを前記樹脂により被覆する樹脂被覆部と、

前記線引き炉と前記樹脂被覆部との間に設けられ、前記第 1 ガスの前記所定熱伝導率よりも小さい熱伝導率を有する第 2 ガスからなる雰囲気にて前記線引きされた光ファイバを加熱して徐冷する徐冷炉とを備えることを特徴とする光ファイバの製造装置。

【請求項 2】 前記徐冷炉は、前記線引き炉との間に所定の間隙を有して設けられていることを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバの製造装置。

【請求項 3】 前記第 1 ガスが H e ガスであり、

前記第 2 ガスが、N₂ガス、A r ガス、空気のうちいずれかであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光ファイバの製造装置。

【請求項 4】 前記徐冷炉は、前記線引きされた光ファイバが通る炉心管を有し、

前記炉心管は、前記線引きされた光ファイバの前記炉心管への入線温度が 1 4 0 0 ～ 1 8 0 0 ℃ の範囲となる位置に配設されることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の光ファイバの製造装置。

【請求項 5】 光ファイバ母材を加熱線引きし、線引きされた光ファイバを樹脂により被覆する光ファイバの製造方法であって、

所定の熱伝導率を有する第 1 ガスからなる雰囲気にて前記光ファイバ母材を加熱線引きし、

前記第 1 ガスの前記所定熱伝導率よりも小さい熱伝導率を有する第 2 ガスからなる雰囲気にて前記線引きされた光ファイバを加熱して徐冷し、

前記徐冷された光ファイバを前記樹脂により被覆することを特徴とする光ファ

イバの製造方法。

【請求項 6】 前記光ファイバ母材を加熱線引きするための線引き炉との間に所定の間隙を有して設けられる徐冷炉を用い、前記線引きされた光ファイバを前記徐冷炉にて徐冷することを特徴とする請求項 5 に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 7】 前記第 1 ガスとして、He ガスを用い、
前記第 2 ガスとして、N₂ ガス、Ar ガス、空気のうちいずれかを用いることを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 8】 前記徐冷炉として、前記線引きされた光ファイバを通す炉心管を前記線引きされた光ファイバの前記炉心管への入線温度が 1 4 0 0 ~ 1 8 0 0 °C の範囲となる位置に配設した徐冷炉を用い、

前記線引きされた光ファイバを前記徐冷炉にて徐冷することを特徴とする請求項 7 に記載の光ファイバの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、レイリー散乱強度の低減により、伝送損失が低くされた光ファイバの製造装置及び製造方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

レイリー散乱強度の低減により、伝送損失が低くされた光ファイバの製造方法として、例えば特開平 1 0 - 2 5 1 2 7 号公報に記載されたものが知られている。この製造方法は、光ファイバ母材を加熱線引きして中間光ファイバを作製し、この中間光ファイバを再加熱することにより熱処理を施すものであり、再加熱によりガラスの構造緩和（原子再配列）により仮想温度（ガラス内の原子の配列状態の乱雑さが対応する温度）を下げ、レイリー散乱強度の低減を図っている。

【0 0 0 3】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、加熱線引きされた光ファイバを保護するため、線引き直後の光

ファイバの表面にUV樹脂等を被覆しており、上述した特開平 1 0 - 2 5 1 2 7 号公報に記載された光ファイバの製造方法では、再加熱時の熱により光ファイバの表面に被覆された樹脂が燃えてしまうため、光ファイバ素線の量産に適したものではない。表面に樹脂を被覆しない状態での光ファイバを再加熱することもあるが、光ファイバ取り扱い時の傷付き等の問題から、量産の製造方法として適用できるものではない。

【0 0 0 4】

本発明は上述の点に鑑みてなされたもので、レイリー散乱強度の低減により、伝送損失が低くされた光ファイバを製造するに際して、表面に樹脂が被覆された光ファイバ素線の量産に適用することが可能な光ファイバの製造装置及び製造方法を提供することを目的とする。

【0 0 0 5】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、光ファイバ素線の量産に適用することが可能な光ファイバの製造装置及び製造方法について鋭意研究を行った結果、レイリー散乱強度と線引き後の光ファイバの冷却速度との関係について、以下のような事実を新たに見出した。

【0 0 0 6】

高温のガラス内では熱エネルギーにより原子は激しく振動しており、低温のガラスに比べて原子配列は乱雑な状態となっている。高温のガラスをゆっくり冷却した場合には、原子の再配列が許される温度範囲では、原子は各温度に対応した乱雑さに配列しながら冷却されるので、ガラス内の原子の乱雑さは構造緩和が進行する最低温度（1 2 0 0℃程度）に対応した状態となる。しかし、高温のガラスを急激に冷却した場合には、原子配列が各温度に対応した平衡状態に達する前に冷却固定されるために、徐冷した場合に比べて原子配列は乱雑な状態となる。レイリー散乱強度は同一の物質でも原子配列が乱雑な方が大きくなり、通常、線引き後に 5 0 0 0 ~ 3 0 0 0 0℃/秒の冷却速度で冷却される光ファイバでは、バルクガラスに比べて原子配列が乱雑な状態になっており、これが原因でレイリー散乱強度が大きくなっていると考えられる。また、1 7 0 0℃より高温では原子

の構造緩和は極めて短時間で進行するため、3 0 0 0 0℃／秒程度で急激に冷却した場合においても、各温度の平衡状態を維持することができる。

【0 0 0 7】

一方、構造緩和に要する時間は温度が低くなるほど長くなるため、例えば1 0 0 0～1 2 0 0℃程度ではその温度に数十時間維持しておかないと構造緩和が起こらない。線引き後の光ファイバは、通常0. 数秒で4 0 0℃程度まで冷却されるため、線引き工程中の光ファイバが冷却される短時間の間に構造緩和を起こさせるためには、1 2 0 0℃よりも高温の状態に維持する必要がある。

【0 0 0 8】

そこで、本発明者らは線引き後の光ファイバ温度及び冷却速度に着目して、純石英コアファイバの温度が、上述した構造緩和が進行する最低温度（1 2 0 0℃程度）よりも高温且つ構造緩和が極めて短時間で進行する1 7 0 0℃以下の1 3 0 0～1 7 0 0℃になっている部分での冷却速度とレイリー散乱係数との関係を調査した。その結果、純石英コアファイバの温度が1 3 0 0～1 7 0 0℃となっている部分での冷却速度とレイリー散乱係数との間には、図3に示されるような関係が存在していることが確認された。なお、レイリー散乱強度（I）は下記（1）式に示すように波長（λ）の4乗に反比例する性質を有しており、この時の係数Aをレイリー散乱係数としている。

$$I = A / \lambda^4 \quad \dots\dots\dots (1)$$

【0 0 0 9】

これらの結果から、加熱線引きされ、樹脂が被覆される前の光ファイバの冷却速度を遅くすることにより、光ファイバのレイリー散乱強度を低減して、伝送損失を低くすることができるという点が判明した。

【0 0 1 0】

かかる研究結果を踏まえ、請求項1に記載の本発明による光ファイバの製造装置は、光ファイバ母材を加熱線引きし、線引きされた光ファイバを樹脂により被覆する光ファイバの製造装置であって、所定の熱伝導率を有する第1ガスからなる雰囲気にて光ファイバ母材を加熱線引きする線引き炉と、線引きされた光ファイバを樹脂により被覆する樹脂被覆部と、線引き炉と樹脂被覆部との間に設けら

れ、第 1 ガスの所定熱伝導率よりも小さい熱伝導率を有する第 2 ガスからなる雰囲気にて線引きされた光ファイバを加熱して徐冷する徐冷炉とを備えることを特徴としている。

【 0 0 1 1 】

上述の請求項 1 に記載の光ファイバの製造装置によれば、線引き炉と樹脂被覆部との間に、第 1 ガスの所定熱伝導率よりも小さい熱伝導率を有する第 2 ガスからなる雰囲気にて線引きされた光ファイバを加熱して徐冷する徐冷炉とを備えているので、徐冷炉内における光ファイバの雰囲気ガスの熱伝導率が小さくなり、加熱線引きされ、樹脂が被覆される前の光ファイバのうちの所定区間での冷却速度が遅くなり、徐冷されることになる。このため、光ファイバの構造緩和が短時間の内に進行し、原子配列の乱雑さが低減されることになり、加熱線引きから樹脂被覆までの極めて短い間で、レイリー散乱強度を低減して伝送損失が低くされた光ファイバの製造が可能となる。また、線引き後の樹脂を被覆する前の光ファイバの冷却速度を制御することによりレイリー散乱強度の低減を図っているので、上述した先行技術のような再加熱のための熱処理が不要となり、表面に樹脂が被覆された光ファイバ素線の量産に極めて容易に適用することが可能となる。また、線引き炉内における光ファイバの雰囲気ガスの熱伝導率は、徐冷炉内の雰囲気ガスとしての第 2 ガスより大きい熱伝導率を有しているので、光ファイバ母材が加熱軟化されて一定径に漸近されるまで速やかに冷却され、光ファイバの外径の変動を抑制することが可能となる。

【 0 0 1 2 】

また、徐冷炉は、線引き炉との間に所定の間隙を有して設けられていることが好ましい。このように、徐冷炉と線引き炉との間に所定の間隙を設けることにより、第 1 ガスが徐冷炉側に流れ込む、あるいは、第 2 ガスが線引き炉側に流れ込むといった事態の発生が抑制され、線引き炉内の雰囲気ガスの熱伝導率及び徐冷炉内の雰囲気ガスの熱伝導率が適切に維持される。このため、伝送損失が低くされ且つ外径の変動が抑制された光ファイバの製造を安定して行うことが可能となる。

【 0 0 1 3 】

また、第 1 ガスが H e ガスであり、第 2 ガスが、N₂ガス、A r ガス、空気のうちいずれかであることが好ましい。このように、第 1 ガスを H e ガスとし、第 2 ガスを、N₂ガス、A r ガス、空気のうちいずれかとすることにより、線引き炉内の雰囲気ガスの熱伝導率及び徐冷炉内の雰囲気ガスの熱伝導率を適切な値に設定できる。

【 0 0 1 4 】

また、徐冷炉は、線引きされた光ファイバが通る炉心管を有し、炉心管は、線引きされた光ファイバの炉心管への入線温度が 1 4 0 0 ~ 1 8 0 0 ℃ の範囲となる位置に配設されることが好ましい。このように、徐冷炉を炉心管への光ファイバの入線温度が 1 4 0 0 ~ 1 8 0 0 ℃ の範囲となる位置に配設することにより、光ファイバの温度が 1 3 0 0 ~ 1 7 0 0 ℃ となっている部分のうちの所定区間での光ファイバの冷却速度が遅くなり、光ファイバの構造緩和が促進され、レイリー散乱強度を更に低減することが可能となる。

【 0 0 1 5 】

また、請求項 5 に記載の本発明による光ファイバの製造方法は、光ファイバ母材を加熱線引きし、線引きされた光ファイバを樹脂により被覆する光ファイバの製造方法であって、所定の熱伝導率を有する第 1 ガスからなる雰囲気にて光ファイバ母材を加熱線引きし、第 1 ガスの所定熱伝導率よりも小さい熱伝導率を有する第 2 ガスからなる雰囲気にて線引きされた光ファイバを加熱して徐冷し、徐冷された光ファイバを樹脂により被覆することを特徴としている。

【 0 0 1 6 】

上述の請求項 5 に記載の光ファイバの製造方法によれば、第 1 ガスからなる雰囲気にて光ファイバ母材を加熱線引きし、その後、第 1 ガスの所定熱伝導率よりも小さい熱伝導率を有する第 2 ガスからなる雰囲気にて線引きされた光ファイバを加熱して徐冷するので、加熱線引きされ、樹脂が被覆される前の光ファイバのうちの所定区間での冷却速度が遅くなる。このため、光ファイバの構造緩和が短時間の内に進行し、原子配列の乱雑さが低減されることになり、加熱線引きから樹脂被覆までの極めて短い間で、レイリー散乱強度を低減して伝送損失が低くされた光ファイバの製造が可能となる。また、線引き後の樹脂を被覆する前の光フ

ファイバの冷却速度を制御することによりレイリー散乱強度の低減を図っているの
で、上述した先行技術のような再加熱のための熱処理が不要となり、表面に樹脂
が被覆された光ファイバ素線の量産に極めて容易に適用することが可能となる。
また、光ファイバ母材を第2ガスより熱伝導率を有する第1ガスからなる雰囲気
ガスにて加熱線引きするので、光ファイバ母材が加熱軟化されて一定径に漸近さ
れるまで速やかに冷却され、光ファイバの外径の変動を抑制することが可能とな
る。

【0017】

また、光ファイバ母材を加熱線引きするための線引き炉との間に所定の間隙を
有して設けられる徐冷炉を用い、線引きされた光ファイバを徐冷炉にて徐冷する
ことが好ましい。このように、線引き炉との間に所定の間隙を有して設けられる
徐冷炉を用いることにより、第1ガスが徐冷炉側に流れ込む、あるいは、第2ガ
スが線引き炉側に流れ込むといった事態の発生が抑制され、線引き炉内の雰囲気
ガスの熱伝導率及び徐冷炉内の雰囲気ガスの熱伝導率が適切に維持される。この
ため、伝送損失が低くされ且つ光ファイバ外径の変動が抑制された光ファイバの
製造を安定して行うことが可能となる。

【0018】

また、第1ガスとして、Heガスを、第2ガスとして、N₂ガス、Arガ
ス、空気のうちいずれかを用いることが好ましい。このように、第1ガスとして
Heガスを、第2ガスとしてN₂ガス、Arガス、空気のうちいずれかを用いる
ことにより、線引き炉内の雰囲気ガスの熱伝導率及び徐冷炉内の雰囲気ガスの熱
伝導率を適切な値に設定できる。

【0019】

また、徐冷炉として、線引きされた光ファイバを通す炉心管を線引きされた光
ファイバの炉心管への入線温度が1400～1800℃の範囲となる位置に配設
した徐冷炉を用い、線引きされた光ファイバを徐冷炉にて徐冷することが好まし
い。このように、炉心管への光ファイバの入線温度が1400～1800℃の範
囲となる位置に配設された徐冷炉を用いることにより、光ファイバの温度が13
00～1700℃となっている部分のうちの所定区間での光ファイバの冷却速度

を遅くでき、光ファイバの構造緩和を促進させ、レイリー散乱強度を更に低減することが可能となる。

【 0 0 2 0 】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【 0 0 2 1 】

まず、図 1 を参照しながら、本発明による光ファイバの製造装置及びこの製造方法に用いられる線引き装置の実施形態を説明する。

【 0 0 2 2 】

線引き装置 1 は石英系光ファイバの線引き装置であって、線引き炉 1 1、徐冷炉 2 1 及び樹脂硬化部 3 1 を有し、線引き炉 1 1、徐冷炉 2 1 及び樹脂硬化部 3 1 は光ファイバ母材 2 を線引きする方向（図 1 において、上から下）に、線引き炉 1 1、徐冷炉 2 1、樹脂硬化部 3 1 の順で配設されている。母材供給装置（図示せず）に保持された光ファイバ母材 2 を線引き炉 1 1 に供給し、線引き炉 1 1 内のヒータ 1 2 で光ファイバ母材 2 の下端を加熱・軟化させ、光ファイバ 3 を線引きする。線引き炉 1 1 の炉心管 1 3 には、He ガス供給部 1 4 からの He ガス供給通路 1 5 が接続されており、線引き炉 1 1 の炉心管 1 3 内には第 1 ガスとしての He ガスが供給され、炉心管 1 3 内が He ガス雰囲気となるように構成されている。加熱線引きされた光ファイバ 3 は炉心管 1 3 内にて、1700℃程度にまで急激に冷却される。その後、光ファイバ 3 は、炉心管 1 3 の下部から線引き炉 1 1 外に出され、線引き炉 1 1 と徐冷炉 2 1 との間にて空冷される。He ガスの熱伝導率 λ ($T=300\text{K}$) は $150\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であり、空気の熱伝導率 λ ($T=300\text{K}$) は $26\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ である。

【 0 0 2 3 】

空冷された光ファイバ 3 を徐冷炉 2 1 に送り、光ファイバ 3 の所定区間を加熱し、所定の冷却速度にて徐冷する。徐冷炉 2 1 はその中を光ファイバ 3 が通る炉心管 2 3 を有し、この炉心管 2 3 は、光ファイバ母材 2 の線引き方向（図 1 において、上下方向）での全長 L_2 (m) が、

$$L_2 \geq V/8 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 V : 線引き速度 (m/s)

を満足するように設定されている。また、徐冷炉 2 1 は、炉心管 2 3 の位置が、炉心管 2 3 に入る直前の光ファイバの温度（入線温度）が $1400 \sim 1800^\circ\text{C}$ の範囲となる位置に設定されており、線引き炉 1 1 に対して、

$$L1 \leq 0.2 \times V \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $L1$: 線引き炉 1 1 のヒータ 1 2 の下端から
炉心管 2 3 の上端までの距離 (m)

V : 線引き速度 (m/s)

を満足するように、設けられている。徐冷炉 2 1 のヒータ 2 2 の温度は、炉心管 2 3 の内周面（光ファイバ母材 2 あるいは光ファイバ 3 の表面と対向する面）の表面温度が $1200 \sim 1600^\circ\text{C}$ の範囲内の温度、特に、 $1300 \sim 1500^\circ\text{C}$ の範囲内の温度に設定されている。

【0024】

上述した徐冷炉 2 1（炉心管 2 3）の位置及び長さの設定により、徐冷炉 2 1 において、加熱線引きされた光ファイバ 3 において温度が $1300 \sim 1700^\circ\text{C}$ となる部分のうち、光ファイバ 3 の温度差が 50°C 以上となる区間、例えば、光ファイバ 3 の温度が $1400 \sim 1600^\circ\text{C}$ となる部分（温度差が 200°C となる区間）が $1000^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以下の冷却速度で徐冷されることになる。なお、炉心管 2 3 の内周面（光ファイバ母材 2 あるいは光ファイバ 3 の表面と対向する面）の表面温度を $1300 \sim 1500^\circ\text{C}$ の範囲内の温度に設定することにより、加熱線引きされた光ファイバ 3 において温度が $1400 \sim 1600^\circ\text{C}$ となる部分のうち、光ファイバ 3 の温度差が 50°C 以上となる区間が $1000^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以下の冷却速度で徐冷されることになる。

【0025】

徐冷炉 2 1 の炉心管 2 3 には、 N_2 ガス供給部 2 4 からの N_2 ガス供給通路 2 5 が接続されており、徐冷炉 2 1 の炉心管 2 3 内には第 2 ガスとしての N_2 ガスが供給され、炉心管 2 3 内が N_2 ガス雰囲気となるように構成されている。 N_2 ガスは He ガスより熱伝導率が小さく、光ファイバの冷却速度を遅くする役割を果たしている。 N_2 ガスの熱伝導率 λ ($T = 300\text{K}$) は $26\text{mW}/(\text{m} \cdot \text{K})$ であ

る。N₂ガスを用いる代わりに、空気あるいはArといった分子量の比較的大きいガス等を用いることが可能である。もちろんカーボンヒータを用いる場合には、不活性ガスを用いる必要がある。

【0026】

徐冷炉21を出た光ファイバ3は、外径測定手段としての外径測定器41により外径がオンライン測定され、その測定値がドラム42を回転駆動する駆動モータ43にフィードバックされて外径が一定となるように制御される。外径測定器41からの出力信号は、制御手段としての制御ユニット44に送られ、光ファイバ3の外径が予め設定された所定値となるように、ドラム42（駆動モータ43）の回転速度を演算により求める。制御ユニット44からは、演算により求めたドラム42（駆動モータ43）の回転速度を示す出力信号が駆動モータ用ドライバ（図示せず）に出力され、この駆動モータ用ドライバは制御ユニット44からの出力信号に基づいて、駆動モータ43の回転速度を制御する。

【0027】

その後、光ファイバ3に、コーティングダイス51によりUV樹脂52を塗布し、樹脂硬化部31のUVランプ32によりUV樹脂52が硬化され、光ファイバ素線4となる。そして、光ファイバ素線4は、ガイドローラ61を経て、ドラム42により巻き取られる。ドラム42は、回転駆動軸45に支持されており、この回転駆動軸45の端部は駆動モータ43に接続されている。ここで、コーティングダイス51及び樹脂硬化部31は、各請求項における樹脂被覆部を構成している。樹脂被覆部としては、熱硬化樹脂を塗布し、加熱炉により硬化させるように構成してもよい。

【0028】

次に、上述した線引き装置1（ただし、線引き炉11は長さ（L3）が0.07mの下煙突部を有している）を用いて行った実験の結果について説明する。これらの実験において共通の条件は、以下のとおりである。光ファイバ母材2として、外径50mmのものを扱い、この光ファイバ母材2から外径125μmの光ファイバ3を線引きした。線引き炉の温度は、炉心管内周面の表面温度で2000℃程度としている。なお、以下の実験例（実施例1及び実施例2、及び、比較

例 1 ～ 比較例 3) においては、光ファイバ 3 の温度を、光ファイバ 3 の表面温度としている。光ファイバ 3 の表面温度と光ファイバ 3 内部との温度差は 2 0 ～ 5 0 ℃ 程度である。線引き炉 1 1 及び徐冷炉 2 1 の温度は、各炉心管 1 3, 2 3 の内周面 (光ファイバ母材 2 あるいは光ファイバ 3 の表面と対向する面) の表面温度としている。

【 0 0 2 9 】

実施例 1 及び実施例 2 は、上述した実施形態に係る石英系光ファイバの製造方法による実験例であり、比較例 1 ～ 比較例 3 は、上述した実施形態に係る光ファイバの製造方法及び製造装置による実験例との対比のために行った比較実験例である。

【 0 0 3 0 】

(実施例 1)

$L_1 = 0.4 \text{ m}$ 、 $L_2 = 1.0 \text{ m}$ となる炉心管 (内周直径が略 3 0 mm) を有する徐冷炉を用いて、光ファイバの線引きを行った。線引き炉と徐冷炉との間隔 (L_4) は 0.0 5 m に設定されている。線引きする光ファイバ母材は、コア部が純石英ガラスからなり、クラッド部がフッ素添加ガラスからなる。線引き速度は 4 m / s、線引き張力は 2 5 g f、徐冷炉 (炉心管内周面の表面温度) の温度は 1 4 0 0 ℃ とした。徐冷炉に入る直前の光ファイバの温度 (入線温度) は、光ファイバの表面温度で 1 6 0 0 ℃ 程度である。光ファイバの温度分布 (計算値) は図 2 中の (a) に示されるように、徐冷炉 2 1 内にて 1 6 0 0 ℃ 前後に保持されて徐冷されていることがわかる。ここで徐冷炉において、線引きされた光ファイバのうち温度が 1 5 5 0 ～ 1 6 5 0 ℃ となる部分が、徐冷炉の全長である 1.0 m の区間において 6 0 0 ～ 8 0 0 ℃ / 秒程度の徐冷速度にて冷却されたことになる。なお、徐冷炉 2 1 と所定間隔を有して強制冷却部 7 1 が設けられており、強制冷却部 7 1 では徐冷された光ファイバ 3 が強制冷却されるようにしている。

【 0 0 3 1 】

線引きされた光ファイバの伝送損失 (波長 1.5 5 μm の光に対する伝送損失) を測定したところ、0.1 7 0 d B / k m であった。また、伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱係数は、0.8 4 d B μm^4 / k m

であった。線引きされた光ファイバの外径は、 $125 \pm 0.1 \mu\text{m}$ であった。

【0032】

(実施例 2)

$L1 = 0.4 \text{ m}$ 、 $L2 = 2.0 \text{ m}$ となる炉心管（内周直径が略 30 mm ）を有する徐冷炉を用いて、光ファイバの線引きを行った。線引き炉と徐冷炉との間隔（ $L4$ ）は 0.05 m に設定されている。線引きする光ファイバ母材は、コア部が Ge 添加石英ガラスからなり、クラッド部が石英ガラスからなる。コア部とクラッド部との比屈折率差 Δn は、 0.36% である。線引き速度は 8 m/s 、線引き張力は 80 gf 、徐冷炉（炉心管内周面の表面温度）の温度は 1400°C とした。徐冷炉に入る直前の光ファイバの温度（入線温度）は、光ファイバの表面温度で 1600°C 程度である。ここで徐冷炉において、線引きされた光ファイバのうち温度が $1500 \sim 1600^\circ\text{C}$ となる部分が、徐冷炉の全長である 2.0 m の区間において $500 \sim 700^\circ\text{C/秒}$ の徐冷速度にて冷却されたことになる。

【0033】

線引きされた光ファイバの伝送損失（波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光に対する伝送損失）を測定したところ、 0.182 dB/km であった。また、伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱係数は、 $0.92 \text{ dB} \mu\text{m}^4/\text{km}$ であった。線引きされた光ファイバの外径は、 $125 \pm 0.1 \mu\text{m}$ であった。

【0034】

(比較例 1)

$L1 = 0.4 \text{ m}$ 、 $L2 = 1.0 \text{ m}$ となる炉心管（内周直径が略 30 mm ）を有する徐冷炉を用いて、光ファイバの線引きを行った。線引き炉と徐冷炉との間隔（ $L4$ ）は 0.05 m に設定されている。線引きする光ファイバ母材は、コア部が純石英ガラスからなり、クラッド部がフッ素添加ガラスからなる。線引き速度は 4 m/s 、線引き張力は 25 gf とした。徐冷炉での加熱を取り止め、また、徐冷炉（炉心管）内には N_2 ガスの代わりに He ガスを供給した。光ファイバの温度分布（計算値）は図 2 中の（c）に示されるように、線引き炉を出た光ファイバは約 3000°C/秒 の冷却速度にて冷却されていることがわかる。

【0035】

線引きされた光ファイバの伝送損失（波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光に対する伝送損失）を測定したところ、 $0.18\ \text{dB/km}$ であった。また、伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱係数は、 $0.9\ \text{dB}\cdot\mu\text{m}^4/\text{km}$ であった。

【0036】

（比較例 2）

$L1 = 0.4\ \text{m}$ 、 $L2 = 1.0\ \text{m}$ となる炉心管（内周直径が略 $30\ \text{mm}$ ）を有する徐冷炉を用いて、光ファイバの線引きを行った。線引き炉と徐冷炉との間隔（ $L4$ ）は $0.05\ \text{m}$ に設定されている。線引きする光ファイバ母材は、コア部が純石英ガラスからなり、クラッド部がフッ素添加ガラスからなる。線引き速度は $4\ \text{m/s}$ 、線引き張力は $25\ \text{gf}$ とした。徐冷炉での加熱を取り止めた。徐冷炉（炉心管）内には N_2 ガスを供給した。光ファイバの温度分布（計算値）は図 2 中の（c）に示されるように、線引き炉を出た光ファイバは約 $4000 \sim 5000\ ^\circ\text{C}$ /秒の冷却速度にて冷却されていることがわかる。

【0037】

線引きされた光ファイバの伝送損失（波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光に対する伝送損失）を測定したところ、 $0.174\ \text{dB/km}$ であった。また、伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱係数は、 $0.86\ \text{dB}\cdot\mu\text{m}^4/\text{km}$ であった。

【0038】

（比較例 3）

$L1 = 0.4\ \text{m}$ 、 $L2 = 1.0\ \text{m}$ となる炉心管（内周直径が略 $30\ \text{mm}$ ）を有する徐冷炉を用いて、光ファイバの線引きを行った。線引き炉と徐冷炉との間隔（ $L4$ ）は $0.05\ \text{m}$ に設定されている。線引きする光ファイバ母材は、コア部が純石英ガラスからなり、クラッド部がフッ素添加ガラスからなる。線引き速度は $4\ \text{m/s}$ 、線引き張力は $25\ \text{gf}$ 、徐冷炉（炉心管内周面の表面温度）の温度は $1400\ ^\circ\text{C}$ とした。線引き炉（炉心管）内には He ガスの代わりに N_2 ガスを供給した。

【0039】

線引きされた光ファイバの伝送損失（波長 1. 5 5 μm の光に対する伝送損失）を測定したところ、0. 1 7 0 d B / k m であった。また、伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱係数は、0. 8 4 d B μm^4 / k m であった。線引きされた光ファイバの外径は、1 2 5 \pm 0. 3 μm であった。

【 0 0 4 0 】

以上のように、実施例 1 においては、レイリー散乱係数が 0. 8 4 d B μm^4 / k m、波長 1. 5 5 μm の光に対する伝送損失が 0. 1 7 d B / k m となり、比較例 1 及び比較例 2 のレイリー散乱係数が 0. 8 6 ~ 0. 9 d B μm^4 / k m、波長 1. 5 5 μm の光に対する伝送損失が 0. 1 7 4 ~ 0. 1 8 d B / k m と比べて、レイリー散乱係数を低減して、伝送損失を低減することができた。一方、実施例 2 においては、レイリー散乱係数が 0. 9 2 d B μm^4 / k m、波長 1. 5 5 μm の光に対する伝送損失が 0. 1 8 2 d B / k m となり、Ge 含有シングルモード光ファイバとしては十分伝送損失を低減することができた。

【 0 0 4 1 】

また、実施例 1 及び実施例 2 においては、線引きされた光ファイバの外径が 1 2 5 \pm 0. 1 μm となり、比較例 3 の 1 2 5 \pm 0. 3 μm と比べて光ファイバの外径の変動を抑制して、安定した線引きを行うことができた。

【 0 0 4 2 】

このように、上述した実験結果からも明らかなように、本実施形態に係る光ファイバの製造装置及び製造方法においては、線引き炉 1 1 と樹脂硬化部 3 1（コーティングダイス 5 1）との間に、光ファイバ 3 の所定区間を加熱し、所定の冷却速度にて徐冷する徐冷炉 2 1 を設け、線引き炉 1 1 の炉心管 1 3 には、He ガス供給部 1 4 からの He ガス供給通路 1 5 を接続して、炉心管 1 3 内に He ガスを供給し、徐冷炉 2 1 の炉心管 2 3 には、N₂ ガス供給部 2 4 からの N₂ ガス供給通路 2 5 を接続して、炉心管 2 3 内に N₂ ガスを供給しているので、炉心管 1 3 内が He ガス雰囲気となる一方、炉心管 2 3 内が N₂ ガス雰囲気となる。従って、徐冷炉 2 1 内における光ファイバ 3 の雰囲気ガスの熱伝導率が小さくなり（N₂ ガスの熱伝導率 λ （T = 3 0 0 K）は 2 6 mW /（m · K））、加熱線引きされ、UV 樹脂 5 2 が被覆される前の光ファイバのうちの所定区間での冷却速度が

遅くなり、構造緩和が短時間の内に進行し、原子配列の乱雑さが低減されるので、加熱線引きからUV樹脂52の被覆までの極めて短い間で、レイリー散乱強度を低減して伝送損失が低くされた光ファイバ3を製造することが可能となる。また、線引き後のUV樹脂52を被覆する前の光ファイバ3の冷却速度を制御することによりレイリー散乱強度の低減を図っているので、上述した先行技術のような再加熱のための熱処理が不要となり、表面にUV樹脂52が硬化、被覆された光ファイバ素線4の量産に極めて容易に適用することが可能となる。また、線引き炉11内における光ファイバ母材2及び光ファイバ3の雰囲気ガスの熱伝導率は、徐冷炉内の雰囲気ガスより大きい熱伝導率を有しているので（Heガスの熱伝導率 λ （ $T=300\text{ K}$ ）は $150\text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ）、光ファイバ母材2が加熱軟化されて一定径に漸近されるまで速やかに冷却され、光ファイバ3の外径の変動を抑制することが可能となる。

【0043】

また、徐冷炉21は、線引き炉11との間に所定の間隙を有して設けられており、光ファイバ3は、炉心管13の下部から線引き炉11外に出され、線引き炉11と徐冷炉21との間にて空冷された後に徐冷炉21に入るので、Heガスが徐冷炉21（炉心管23内）に流れ込む、あるいは、 N_2 ガスが線引き炉11（炉心管13内）に流れ込むといった事態の発生が抑制され、線引き炉11内のHeガスの熱伝導率及び徐冷炉21内の N_2 ガスの熱伝導率が適切に維持される。このため、伝送損失が低くされ且つ外径の変動が抑制された光ファイバ3の製造を安定して行うことが可能となる。

【0044】

また、徐冷炉21の炉心管23の位置を、炉心管23に入る直前の光ファイバ温度（入線温度）が $1400\sim 1800^\circ\text{C}$ の範囲となる位置とすることにより、線引き炉11にて加熱線引きされた後、UV樹脂52を被覆する前の光ファイバ3において温度が $1300\sim 1700^\circ\text{C}$ となる部分の所定区間を、確実に加熱し、この部分における冷却速度を適切に遅くすることができる。光ファイバ3のうち、その温度が $1300\sim 1700^\circ\text{C}$ となる部分の所定区間における冷却速度が遅くなることにより、光ファイバ3の構造緩和が促進され、レイリー散乱強度を

更に低減することが可能となる。

【 0 0 4 5 】

また、徐冷炉 2 1 の炉心管 2 3 の位置を、上述した (3) 式を満足する位置とすることにより、線引き炉 1 1 にて加熱線引きされた後、UV 樹脂 5 2 を被覆する前の光ファイバ 3 において温度が 1 3 0 0 ~ 1 7 0 0 ℃となる部分の所定区間を、確実に加熱し、この部分における冷却速度を適切に遅くすることができる。

【 0 0 4 6 】

また、徐冷炉 2 1 の炉心管 2 3 の全長を、上述した (2) 式を満足する長さとすることにより、線引き炉 1 1 にて加熱線引きされた後、UV 樹脂 5 2 を被覆する前の光ファイバ 3 において温度が 1 3 0 0 ~ 1 7 0 0 ℃となる部分の所定区間を、確実に加熱し、この部分における冷却速度を適切に遅くすることができる。

【 0 0 4 7 】

また、線引き速度が速い場合には、線引き炉 1 1 の炉心管 1 3 内を He ガス雰囲気とし、線引き炉 1 1 と徐冷炉 2 1 との間で空冷として、光ファイバ 3 の徐冷炉 2 1 に入る前の部分（光ファイバ 3 の温度が 1 7 0 0 ℃以上の部分）を 4 0 0 0 ℃/秒以上の冷却速度にて冷却しているので、光ファイバ 3 の冷却のために必要となる設備高さを低減することが可能となる。なお、1 7 0 0 ℃より高温では原子の構造緩和は極めて短時間で進行するため、4 0 0 0 ℃/秒以上の冷却速度で冷却した場合においても、各温度の平衡状態を維持することができ、レイリー散乱強度に影響を及ぼすことはない。

【 0 0 4 8 】

また、徐冷炉 2 1 から出た光ファイバ 3 の外径を測定するための外径測定器 4 1 と、外径測定器 4 1 からの出力信号に応じて光ファイバ 3 の外径が所定値となるようにドラム 4 2 （駆動モータ 4 3 ）の回転速度を制御する制御ユニット 4 4 とを備えているので、徐冷炉 2 1 から出て、外径長さが安定した状態にある光ファイバ 3 の外径を測定して、この安定した外径に基づいてドラム 4 2 （駆動モータ 4 3 ）の回転速度を制御され、光ファイバ 3 の線引き速度を適切に制御することが可能となる。

【 0 0 4 9 】

本実施形態の変形例として、徐冷炉 2 1 のヒータ 2 2 を複数のヒータにて構成し、この複数のヒータを光ファイバ母材 2 を線引きする方向（図 1 において、上から下）に配設し、徐冷炉 2 1 の炉心管 2 3 内において、線引き炉 1 1 側を高温に、樹脂硬化部 3 1（コーティングダイス 5 1）側を低温とする温度勾配を与えるように構成してもよい。線引き炉 1 1 にて加熱線引きされた光ファイバ 3 の温度は、線引き炉 1 1 側から樹脂硬化部 3 1（コーティングダイス 5 1）側に向かって低下する温度分布を有する。従って、複数のヒータを設け、徐冷炉 2 1 に、線引き炉 1 1 側を高温に、樹脂硬化部 3 1（コーティングダイス 5 1）側を低温とする温度勾配を与えることにより、炉心管 2 3 内が光ファイバ 3 の温度に対応した温度分布を有することとなり、光ファイバ 3 との温度差を適切に保ち、光ファイバ 3 を更に適切な冷却速度にて冷却することができる。

【0 0 5 0】

更なる変形例として、徐冷炉 2 1 を線引き炉 1 1 に連続して一体的に設けるように構成してもよい。このように、徐冷炉 2 1 を線引き炉 1 1 に連続して一体的に設けた場合においても、レイリー散乱強度を低減して伝送損失が低くされた光ファイバ 3 を製造することが可能となる。

【0 0 5 1】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、レイリー散乱強度の低減により、伝送損失が低くされた光ファイバを製造するに際して、表面に樹脂が被覆された光ファイバ素線の量産に適用することが可能な光ファイバの製造装置及び製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明による光ファイバの製造装置の実施形態を示す概略構成図である。

【図 2】

本発明による光ファイバの製造装置の実施形態における、光ファイバの温度分布を示す図表である。

【図 3】

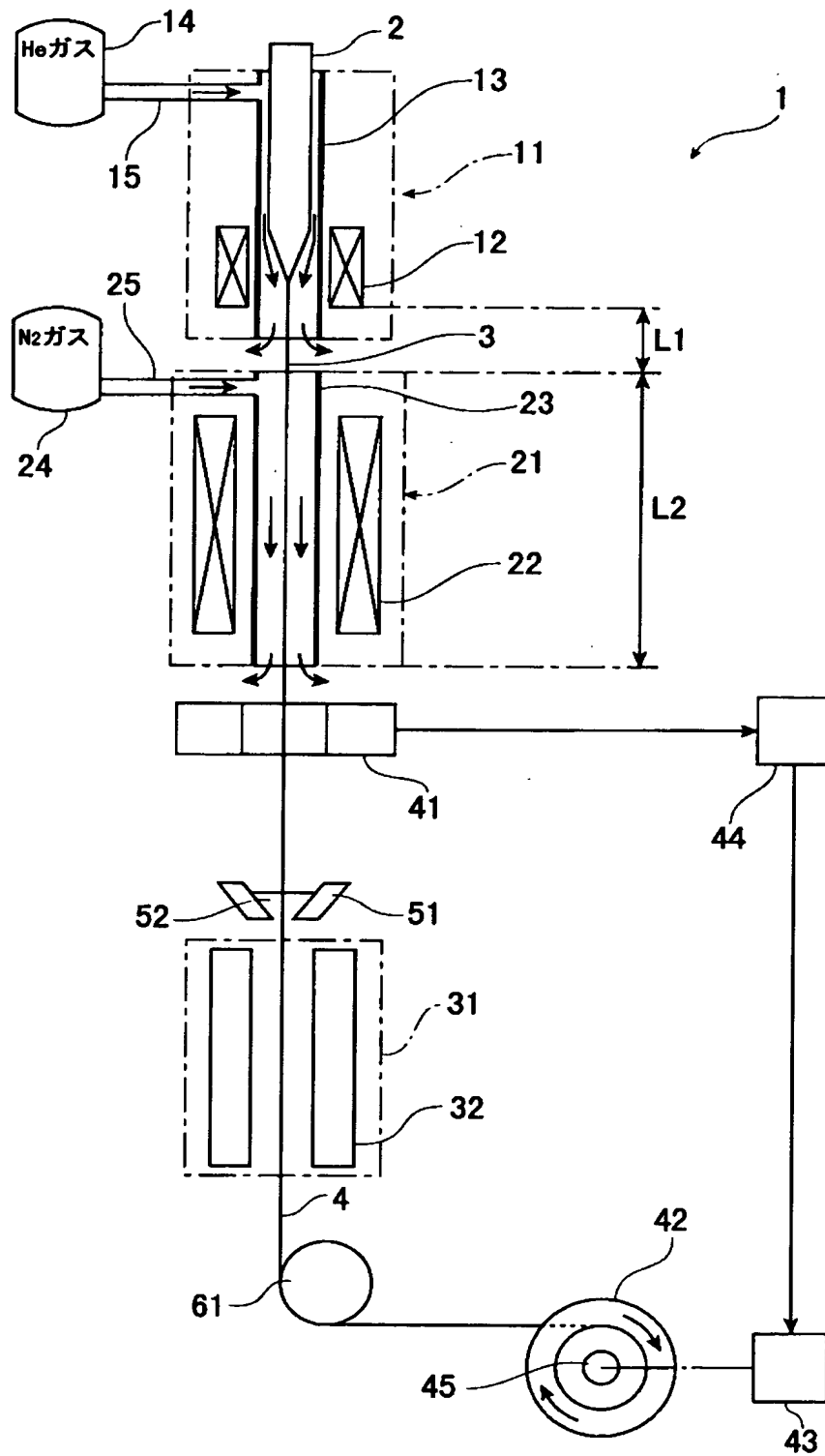
レイリー散乱係数と光ファイバの冷却速度との関係を示す図表である。

【符号の説明】

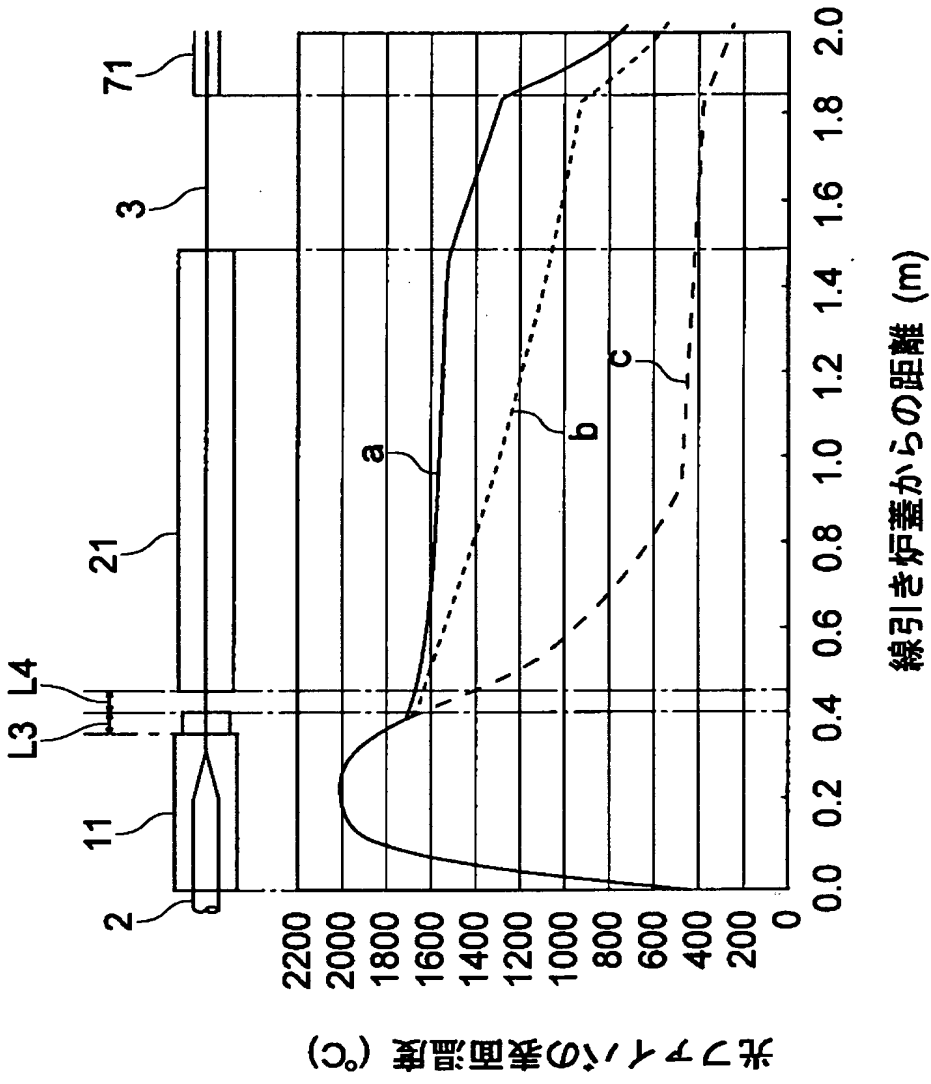
1…線引き装置、2, 1 0 2…光ファイバ母材、3…光ファイバ、4…光ファイバ素線、1 1…線引き炉、1 2…ヒータ、1 3…炉心管、1 4…He ガス供給部、1 5…He ガス供給通路、2 1…徐冷炉、2 2…ヒータ、2 3…炉心管、2 4…N₂ガス供給部、2 5…N₂ガス供給通路、3 1…樹脂硬化部、3 2…UVランプ、4 1…外径測定器、4 2…ドラム、4 3…駆動モータ、4 4…制御ユニット、4 5…回転駆動軸、5 1…コーティングダイス、5 2…UV樹脂液、6 1…ガイドローラ。

【書類名】 図面

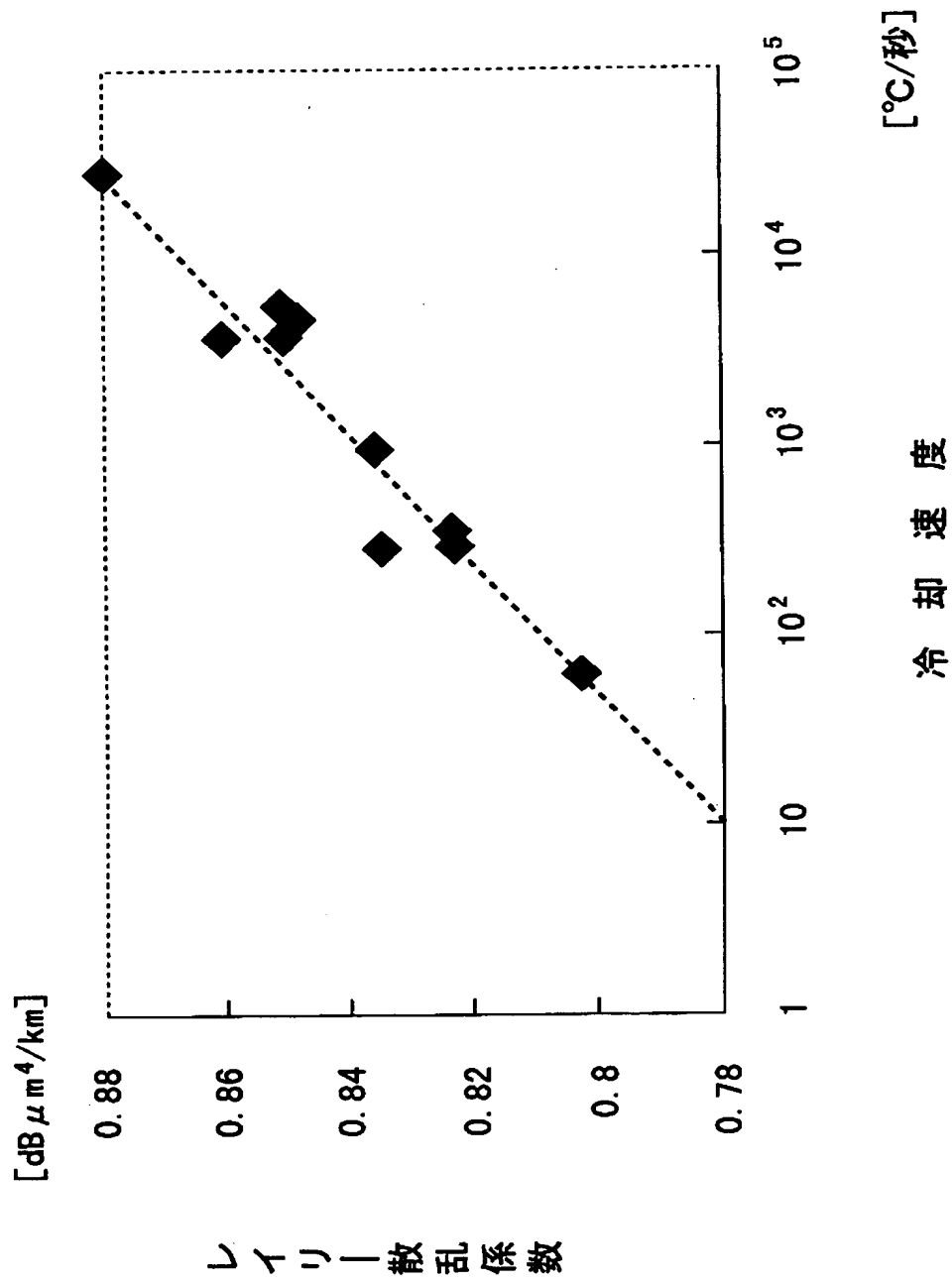
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 レイリー散乱強度を低減し、伝送損失の低い光ファイバを製造するに際して、表面に樹脂が被覆された光ファイバ素線の量産に適用することが可能な光ファイバの製造方法を提供すること。

【解決手段】 線引き装置 1 は線引き炉 1 1、徐冷炉 2 1 及び樹脂硬化部 3 1 を有している。線引き炉 1 1 の炉心管 1 3 には、He ガス供給部 1 4 からの He ガス供給通路 1 5 が接続されており、He ガスが供給される。線引き炉 1 1 にて加熱線引きされた光ファイバ 3 を徐冷炉 2 1 に送り、光ファイバ 3 の所定箇所を、所定の冷却速度にて徐冷する。徐冷炉 2 1 の炉心管 2 3 には、N₂ ガス供給部 2 4 からの N₂ ガス供給通路 2 5 が接続されており、N₂ ガスが供給される。その後、光ファイバ 3 に、プライマリコーティングダイス 5 1 によりコーティング樹脂液 5 2 を塗布し、樹脂硬化部 3 1 にてコーティング樹脂が加熱硬化され、光ファイバ素線 4 となる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名	住友電気工業株式会社

50212-313
Katsuya NAGAYAMA et al.
09/991,820
November 26, 2001
McDermott, Will & Emery

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月

Date of Application

JAN 10 2002

999年10月12日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第289734号

出 願 人

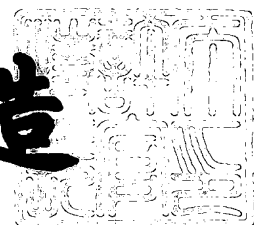
Applicant(s):

住友電気工業株式会社

2001年11月30日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3105062

【書類名】 特許願

【整理番号】 099Y0213

【提出日】 平成11年10月12日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 C03B 37/027
G02B 6/00

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 永山 勝也

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 齋藤 達彦

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 高見澤 宏史

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 大賀 裕一

【特許出願人】

 【識別番号】 000002130

 【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100088155

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9908938

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバの製造方法及び製造装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光ファイバ母材を加熱線引きする光ファイバの製造方法であって、

第 1 ガスからなる雰囲気にて前記光ファイバ母材を加熱線引きする線引き炉と、前記線引き炉との間に所定の間隙を有して設けられ、前記線引き炉にて前記線引きされた光ファイバを第 2 ガスからなる雰囲気にて加熱して徐冷する加熱炉と、を用い、

前記線引き炉と前記加熱炉との間の前記間隙を、前記第 1 ガス及び前記第 2 ガスが混在するガス混在層とし、

前記線引き炉にて前記線引きされた光ファイバを、前記ガス混在層を介して前記加熱炉に送り、

前記熱処理炉において、前記線引きされた光ファイバを前記光ファイバの温度が 1 2 0 0 ~ 1 7 0 0 ℃ の範囲内の温度であるように加熱することを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項 2】 前記ガス混在層を外気と区画するための隔壁を設け、

前記隔壁に、少なくとも前記第 1 ガスを排出するためのガス排出部を形成することを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 3】 前記第 2 ガスとして、前記第 1 ガスの熱伝導率と同等若しくは前記第 1 ガスの熱伝導率より低い熱伝導率を有するガスを用いることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 4】 前記線引きされた光ファイバの前記ガス混在層への入線温度を、1 4 0 0 ~ 1 9 0 0 ℃ の範囲内の温度とすることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか一項に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 5】 光ファイバ母材を加熱線引きする光ファイバの製造装置であって、

第 1 ガスからなる雰囲気にて前記光ファイバ母材を加熱線引きする線引き炉と、

前記線引き炉との間に所定の間隙を有して設けられ、前記線引きされた光ファイバを前記光ファイバの温度が 1 2 0 0 ~ 1 7 0 0 ℃ の範囲内の温度であるように、第 2 ガスからなる雰囲気にて加熱する加熱炉と、有し、

前記線引き炉と前記加熱炉との間の前記間隙が、前記第 1 ガス及び前記第 2 ガスが混在するガス混在層とされていることを特徴とする光ファイバの製造装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、レイリー散乱強度の低減により、伝送損失が低くされた光ファイバの製造方法及び製造装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

レイリー散乱強度の低減により、伝送損失が低くされた光ファイバの製造方法として、例えば特開平 1 0 - 2 5 1 2 7 号公報に記載されたものが知られている。この製造方法は、光ファイバ母材を加熱線引きして中間光ファイバを作製し、この中間光ファイバを再加熱することにより熱処理を施すものであり、再加熱によりガラスの構造緩和（原子再配列）により仮想温度（ガラス内の原子の配列状態の乱雑さが対応する温度）を下げ、レイリー散乱強度の低減を図っている。

【 0 0 0 3 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、加熱線引きされた光ファイバを保護するため、線引き直後の光ファイバの表面に UV 樹脂等を被覆しており、上述した特開平 1 0 - 2 5 1 2 7 号公報に記載された光ファイバの製造方法では、再加熱時の熱により光ファイバの表面に被覆された樹脂が燃えてしまうため、光ファイバ素線の量産に適したものではない。表面に樹脂を被覆しない状態での光ファイバを再加熱することも考えられるが、光ファイバ取り扱い時の傷付き等の問題から、量産の製造方法として適用できるものではない。

【 0 0 0 4 】

本発明は上述の点に鑑みてなされたもので、レイリー散乱強度の低減により、

伝送損失が低くされた光ファイバを製造するに際して、光ファイバ素線の量産に適用することが可能な光ファイバの製造方法及び製造装置を提供することを目的とする。

【 0 0 0 5 】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、光ファイバ素線の量産に適用することが可能な光ファイバの製造方法及び製造装置について鋭意研究を行った結果、レイリー散乱強度と線引き後の光ファイバの冷却速度との関係について、以下のような事実を新たに見出した。

【 0 0 0 6 】

高温のガラス内では熱エネルギーにより原子は激しく振動しており、低温のガラスに比べて原子配列は乱雑な状態となっている。高温のガラスをゆっくり冷却した場合には、原子の再配列が許される温度範囲では、原子は各温度に対応した乱雑さに配列しながら冷却されるので、ガラス内の原子の乱雑さは構造緩和が進行する最低温度（1 2 0 0℃程度）に対応した状態となる。しかし、高温のガラスを急激に冷却した場合には、原子配列が各温度に対応した平衡状態に達する前に冷却固定されるために、徐冷した場合に比べて原子配列は乱雑な状態となる。レイリー散乱強度は同一の物質でも原子配列が乱雑な方が大きくなり、通常、線引き後に 5 0 0 0 ～ 3 0 0 0 0℃/秒の冷却速度で冷却される光ファイバでは、バルクガラスに比べて原子配列が乱雑で、仮想温度が高い状態になっており、これが原因でレイリー散乱強度が大きくなっていると考えられる。

【 0 0 0 7 】

一方、構造緩和に要する時間は温度が低くなるほど長くなるため、例えば 1 2 0 0℃程度ではその温度に数十時間維持しておかないと構造緩和が起こらない。線引き後の光ファイバは、通常 0. 数秒で約 2 0 0 0℃から 4 0 0℃程度にまで冷却されるため、線引き工程中の光ファイバが冷却される短時間の間に仮想温度を低くして、1 2 0 0℃に近づけるためには、1 2 0 0℃よりも高温の状態で徐冷する必要がある。

【 0 0 0 8 】

そこで、本発明者らは線引き後の光ファイバ温度及び冷却速度に着目して、純石英コアファイバの温度が、上述した構造緩和が進行する最低温度（1 2 0 0℃程度）よりも高温且つ構造緩和が極めて短時間で進行する 1 7 0 0℃以下の 1 2 0 0～1 7 0 0℃になっている部分での冷却速度とレイリー散乱率との関係を調査した。その結果、純石英コアファイバの温度が 1 2 0 0～1 7 0 0℃となっている部分での冷却速度とレイリー散乱率との間には、図 5 に示されるような関係が存在していることが確認された。なお、レイリー散乱強度（I）は下記（1）式に示すように波長（λ）の 4 乗に反比例する性質を有しており、この時の率 A をレイリー散乱率としている。

$$I = A / \lambda^4 \quad \dots\dots\dots (1)$$

【0 0 0 9】

これらの結果から、加熱線引きされた光ファイバ、特に光ファイバの温度が 1 2 0 0～1 7 0 0℃となっている部分のうちの所定区間での冷却速度を遅くすることにより、光ファイバのレイリー散乱強度を低減して、伝送損失を低くすることができるということが判明した。

【0 0 1 0】

また、発明者らは、以下の事実についても新たに見出した。光ファイバの温度が 1 2 0 0～1 7 0 0℃となっている部分のうちの所定区間での冷却速度を遅くする目的で、線引き炉にて線引きされた光ファイバを加熱して徐冷する加熱炉を設けることが考えられる。しかしながら、この加熱炉を線引き炉に直結させて設けた場合には、線引き炉内にて発生するダストが加熱炉内に入り、加熱炉内の光ファイバに付着して、光ファイバのガラス径が一時的に変化する「スパイク」が発生する、あるいは、光ファイバの強度が低下するといった問題が生じる虞がある。線引き炉内に発生するダストは、①線引き炉の炉心管の消耗劣化が原因で生じるもの、②光ファイバ母材の揮発成分が再結晶して生じるもの、③光ファイバ母材の揮発成分と炉心管の構成成分との反応により生じるもの、④さらにこれらと線引き炉の炉心管内に流すガスとの反応によって生じるもの、等がある。

【0 0 1 1】

一方、加熱炉を、線引き炉に直結させることなく、線引き炉との間に所定の間

隔を有して設けた場合には、線引き炉を出た光ファイバが加熱炉に入るまでの間で外気の流れの乱れの影響を受けて、線引き炉と加熱炉との間にて光ファイバの冷却が不均一となり、光ファイバのガラス径が周期的に変化する「ガラス径変動」の発生、あるいは、光ファイバの曲がりの悪化といった問題が生じる虞がある。

【 0 0 1 2 】

かかる研究結果を踏まえ、本発明に係る光ファイバの製造方法は、光ファイバ母材を加熱線引きする光ファイバの製造方法であって、第 1 ガスからなる雰囲気にて光ファイバ母材を加熱線引きする線引き炉と、線引き炉との間に所定の間隔を有して設けられ、線引き炉にて線引きされた光ファイバを第 2 ガスからなる雰囲気にて加熱して徐冷する加熱炉と、を用い、線引き炉と加熱炉との間の間隔を、第 1 ガス及び第 2 ガスが混在するガス混在層とし、線引き炉にて線引きされた光ファイバを、ガス混在層を介して加熱炉に送り、熱処理炉において、線引きされた光ファイバを光ファイバの温度が 1 2 0 0 ~ 1 7 0 0 ℃ の範囲内の温度であるように加熱することを特徴としている。

【 0 0 1 3 】

本発明に係る光ファイバの製造方法では、加熱炉にて、線引きされた光ファイバを光ファイバの温度が 1 2 0 0 ~ 1 7 0 0 ℃ の範囲内の温度であるように加熱するので、加熱線引きされた光ファイバのうち、光ファイバの温度が 1 2 0 0 ~ 1 7 0 0 ℃ となっている部分のうちの所定区間での冷却速度が遅くなり、徐冷される。このため、光ファイバの仮想温度が低くなり、原子配列の乱雑さが低減されることになり、加熱線引きから樹脂被覆までの極めて短い間で、レイリー散乱強度を低減して伝送損失が低くされた光ファイバの製造が可能となる。線引き後の樹脂を被覆する前の光ファイバの冷却速度を制御することによりレイリー散乱強度の低減を図っているので、上述した先行技術のような再加熱のための熱処理が不要となり、光ファイバ素線の量産に極めて容易に適用することが可能となる。

【 0 0 1 4 】

そして、加熱炉を線引き炉との間に所定の間隔を有して設け、更に、この加熱

炉と線引き炉との間の間隔を、第 1 ガス及び第 2 ガスが混在するガス混在層としているため、線引き炉内にて発生するダストが加熱炉内に入ることが抑えられることになり、上述したような「スパイク」の発生、あるいは、光ファイバの強度の低下を抑制することができる。また、ガス混在層の存在により、線引き炉と加熱炉との間での外気の流れの乱れの影響が受け難くなるために、上述したような「ガラス径変動」の発生、あるいは、光ファイバの曲がりの悪化も抑制することができる。

【 0 0 1 5 】

また、ガス混在層を外気と区画するための隔壁を設け、隔壁に、少なくとも第 1 ガスを排出するためのガス排出部を形成することが好ましい。このように隔壁を設けることで、外気の流れの乱れの影響が更に受け難くなり、「ガラス径変動」の発生、あるいは、光ファイバの曲がりの悪化をより一層抑制することができる。また、少なくとも第 1 ガスを排出するためのガス排出部を形成することで、線引き炉内にて発生するダストが加熱炉内に入ることが更に抑えられることになり、上述したような「スパイク」の発生、あるいは、光ファイバの強度の低下もより一層抑制することができる。

【 0 0 1 6 】

また、第 2 ガスとして、第 1 ガスの熱伝導率と同等若しくは第 1 ガスの熱伝導率より低い熱伝導率を有するガスを用いることが好ましい。このように第 2 ガスとして、第 1 ガスの熱伝導率と同等若しくは第 1 ガスの熱伝導率より低い熱伝導率を有するガスを用いることにより、特に、比較的太径の光ファイバ母材を用いて線引きする場合において、安定して線引きが行えると共に、伝送損失が低くされた光ファイバの製造が可能となる。

【 0 0 1 7 】

また、線引きされた光ファイバのガス混在層への入線温度を、1 4 0 0 ～ 1 9 0 0℃の範囲内の温度とすることが好ましい。このように線引きされた光ファイバのガス混在層への入線温度を 1 4 0 0 ～ 1 9 0 0℃の範囲内の温度とすることにより、加熱炉にて、線引きされた高温の光ファイバが徐冷されることになり、光ファイバの伝送損失を低くすることができる。

【 0 0 1 8 】

本発明に係る光ファイバの製造装置は、光ファイバ母材を加熱線引きする光ファイバの製造装置であって、第 1 ガスからなる雰囲気にて光ファイバ母材を加熱線引きする線引き炉と、線引き炉との間に所定の間隙を有して設けられ、線引きされた光ファイバを光ファイバの温度が 1 2 0 0 ~ 1 7 0 0 °C の範囲内の温度であるように、第 2 ガスからなる雰囲気にて加熱する加熱炉とを有し、線引き炉と加熱炉との間隙が、第 1 ガス及び第 2 ガスが混在するガス混在層とされていることを特徴としている。

【 0 0 1 9 】

本発明に係る光ファイバの製造装置では、加熱炉にて、線引きされた光ファイバを光ファイバの温度が 1 2 0 0 ~ 1 7 0 0 °C の範囲内の温度であるように加熱するので、加熱線引きされた光ファイバのうち、光ファイバの温度が 1 2 0 0 ~ 1 7 0 0 °C となっている部分のうちの所定区間での冷却速度が遅くなり、徐冷される。このため、光ファイバの仮想温度が低くなり、原子配列の乱雑さが低減されることになり、加熱線引きから樹脂被覆までの極めて短い間で、レイリー散乱強度を低減して伝送損失が低くされた光ファイバの製造が可能となる。線引き後の樹脂を被覆する前の光ファイバの冷却速度を制御することによりレイリー散乱強度の低減を図っているので、上述した先行技術のような再加熱のための熱処理が不要となり、光ファイバ素線の量産に極めて容易に適用することが可能となる。

【 0 0 2 0 】

そして、加熱炉を線引き炉との間に所定の間隔を有して設け、更に、この加熱炉と線引き炉との間隙を、第 1 ガス及び第 2 ガスが混在するガス混在層としているため、線引き炉内にて発生するダストが加熱炉内に入ることが抑えられることになり、上述したような「スパイク」の発生、あるいは、光ファイバの強度の低下を抑制することができる。また、ガス混在層の存在により、線引き炉と加熱炉との間での外気の流れの乱れの影響が受け難くなるために、上述したような「ガラス径変動」の発生、あるいは、光ファイバの曲がりの悪化も抑制することができる。

【 0 0 2 1 】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付しており、重複する説明は省略する。

【 0 0 2 2 】

まず、図 1 を参照しながら、本発明による光ファイバの製造方法及びこの製造方法に用いられる線引き装置の実施形態を説明する。

【 0 0 2 3 】

線引き装置 1 は石英系光ファイバの線引き装置であって、線引き炉 1 1、徐冷用加熱炉 2 1 及び樹脂硬化部 3 1 を有し、これら線引き炉 1 1、徐冷用加熱炉 2 1 及び樹脂硬化部 3 1 は光ファイバ母材 2 を線引きする方向（図 1 において、上から下）に、線引き炉 1 1、徐冷用加熱炉 2 1、樹脂硬化部 3 1 の順で配設されている。母材供給装置（図示せず）に保持された光ファイバ母材 2 を線引き炉 1 1 に供給し、線引き炉 1 1 内のヒータ 1 2 で光ファイバ母材 2 の下端を加熱・軟化させ、光ファイバ 3 を線引きする。線引き炉 1 1 の炉心管 1 3 には、第 1 ガス供給部 1 4 からのガス供給通路 1 5 が接続されており、線引き炉 1 1 の炉心管 1 3 内が第 1 ガスからなる雰囲気となるように構成されている。加熱線引きされた光ファイバ 3 は炉心管 1 3 内にて、1900℃程度にまで第 1 ガスにより冷却される。その後、光ファイバ 3 は、炉心管延長部 1 6 から出る。第 1 ガスとしては、例えば N_2 ガスあるいは He ガス等の不活性ガスを用いることができ、 N_2 ガスの熱伝導率 λ ($T=300K$) は $26\text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であり、 He ガスの熱伝導率 λ ($T=300K$) は $150\text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ である。

【 0 0 2 4 】

徐冷用加熱炉 2 1 は、線引き炉 1 1 との間に所定の間隔 L_1 を有して設けられており、ヒータ 2 2 及び炉心管 2 3 を有している。徐冷用加熱炉 2 1 では、炉心管 2 3 内の光ファイバ 3 をヒータ 2 2 により加熱することで、光ファイバ 3 の所定箇所を、所定の冷却速度にて徐冷している。徐冷用加熱炉 2 1 における徐冷は、加熱線引きされた光ファイバ 3 において温度が $1200\sim 1700^\circ\text{C}$ となる部分のうち、光ファイバ 3 の温度差が 50°C 以上となる区間、例えば、光ファイバ

3の温度が1400～1600℃となる部分（温度差が200℃となる区間）が1000℃/秒以下の冷却速度で徐冷することにより行われる。なお、炉中心の温度を1300～1600℃の範囲内の温度に設定することにより、加熱線引きされた光ファイバ3において温度が1400～1600℃となる部分のうち、光ファイバ3の温度差が50℃以上となる区間が1000℃/秒以下の冷却速度で徐冷されることになる。

【0025】

徐冷用加熱炉21のヒータ22及び炉心管23の設置位置及び光ファイバ母材2の線引き方向（図1において、上下方向）での全長は、上述した光ファイバ3の温度が1200～1700℃となる部分のうち光ファイバ3の温度差が50℃以上となる区間が、徐冷用加熱炉21の炉心管23内に位置してヒータ22により加熱されながら、徐冷されるように、線引き速度を考慮して設定されている。ここで、線引き速度を考慮する必要があるのは、線引き速度が速くなることにより、光ファイバ3の同じ温度となる位置が下方に下がるためである。また、徐冷用加熱炉21のヒータ22の温度は、炉心管23内に位置する光ファイバ3の温度差が50℃以上となる区間を1000℃/秒以下の冷却速度で冷却するように設定される。

【0026】

また、徐冷用加熱炉21の炉心管23は外気と通じており、炉心管23内が空気（第2ガス）からなる雰囲気となるように構成されている。空気の熱伝導率 λ （ $T=300\text{ K}$ ）は $26\text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ である。なお、空気を用いる代わりに、 N_2 あるいはAr等の分子量の比較的大きいガスを用いることが可能である。第2ガスとして N_2 あるいはAr等のガスを用いる場合には、第2ガスの供給源としてのガス供給部をガス供給通路を介して炉心管23に接続するように構成することになる。

【0027】

ヒータ22は、第1ヒータ22a、第2ヒータ22b及び第3ヒータ22cからなる3つのヒータを含んでいる。各ヒータ22a、22b、22cは光ファイバ母材2を線引きする方向（図2において、上から下）に、第1ヒータ22a、

第 2 ヒータ 2 2 b、第 3 ヒータ 2 2 c の順で配設されている。各ヒータ 2 2 a, 2 2 b, 2 2 c は、

$$T 1 = T 2 + 2 5 ^{\circ} C \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$T 3 = T 2 - 2 5 ^{\circ} C \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、T 1 : 炉心管 2 3 の第 1 ヒータ 2 2 a に対応する位置の
内周面の表面温度

T 2 : 炉心管 2 3 の第 2 ヒータ 2 2 b に対応する位置の
内周面の表面温度

T 3 : 炉心管 2 3 の第 3 ヒータ 2 2 c に対応する位置の
内周面の表面温度

を満たすように、その温度が調節されている。なお、T 1 と T 2 との温度差、あるいは、T 2 と T 3 との温度差は、上述した 2 5 °C に限られるものではなく、例えば 3 0 °C 程度の温度差を付けるようにしてもよい。また、全てのヒータの温度を同一に設定するようにしてもよい。

【 0 0 2 8 】

上述したように、各ヒータ 2 2 a, 2 2 b, 2 2 c に温度差を付けた場合には、徐冷用加熱炉 2 1 の炉心管 2 3 内において、線引き炉 1 1 側となる第 1 ヒータ 2 2 a を高温に、樹脂硬化部 3 1 側となる第 3 ヒータ 2 2 c を低温とする温度勾配が与えられることになる。したがって、炉心管 2 3 内が、線引き炉 1 1 側から樹脂硬化部 3 1 側に向かって低下する温度分布を有する光ファイバ 3 の温度に対応した温度分布を有することとなり、光ファイバ 3 との温度差を適切に保ち、光ファイバ 3 を更に適切な冷却速度にて冷却することができる。

【 0 0 2 9 】

炉心管延長部 1 6 と徐冷用加熱炉 2 1 との間には、緩衝室 4 1 が設けられており、この緩衝室 4 1 の光ファイバ 3 の線引き方向における長さは、図 1 に示されるように、ほぼ L 1 とされている。なお、炉心管延長部 1 6 と緩衝室 4 1 との間には若干の間隙が存在しており、炉心管延長部 1 6 と緩衝室 4 1 とは直結されてはいない。緩衝室 4 1 は、第 1 緩衝室 4 2 と第 2 緩衝室 4 5 とで構成されている。緩衝室 4 1 (第 1 緩衝室 4 2 及び第 2 緩衝室 4 5) の内部空間は、線引き炉 1

1（炉心管 1 3）内の雰囲気ガスである第 1 ガスと、徐冷用加熱炉 2 1（炉心管 2 3）内の雰囲気ガスである空気とが混在している。ここで、緩衝室 4 1（第 1 緩衝室 4 2 及び第 2 緩衝室 4 5）は、各請求項におけるガス混在層を構成している。

【0 0 3 0】

第 1 緩衝室 4 2 は、光ファイバ 3 が通る内部空間を外気と区画するための隔壁 4 3 を有しており、この隔壁 4 3 には、線引き炉 1 1 内から流れてくる第 1 ガス及び線引き炉 1 1 内にて発生するダストを排出するための複数の排出穴 4 4 が形成されている。第 2 緩衝室 4 5 は、光ファイバ 3 が通る内部空間を外気と区画するための隔壁 4 6 を有しており、この隔壁 4 6 には、線引き炉 1 1 内から流れてくる第 1 ガス及び線引き炉 1 1 内にて発生するダストを排出するための複数の排出管 4 7 が形成されている。また、第 1 緩衝室 4 2 と第 2 緩衝室 4 5 とは、仕切り壁 4 8 により仕切られている。仕切り壁 4 8 には、光ファイバ 3 が通る光ファイバ通過穴 4 9 が形成されている。なお、 N_2 ガス等を供給する供給管を第 2 緩衝室 4 5 に接続して該供給管から N_2 ガス等を供給して、積極的に線引き炉 1 1 内から流れてくる第 1 ガス及び線引き炉 1 1 内にて発生するダストを排出するように構成してもよい。ここで、排出穴 4 4 及び排出管 4 7 は、各請求項におけるガス排出部を構成している。

【0 0 3 1】

炉心管延長部 1 6 から線引き炉 1 1 外に出た光ファイバ 3 は、続いて緩衝室 4 1（第 1 緩衝室 4 2 及び第 2 緩衝室 4 5）に入り、緩衝室 4 1（第 1 緩衝室 4 2 及び第 2 緩衝室 4 5）により外気と接触が抑制された状態で、徐冷用加熱炉 2 1 に入り、徐冷されることになる。また、徐冷用加熱炉 2 1 における、光ファイバ 3 において温度が $1200 \sim 1700^{\circ}\text{C}$ となる部分のうちの光ファイバ 3 の温度差が 50°C 以上となる区間の徐冷を妨げないように、光ファイバ 3 の緩衝室 4 1（第 1 緩衝室 4 2）への入線温度は、 $1400 \sim 1900^{\circ}\text{C}$ の範囲内の温度とされている。

【0 0 3 2】

徐冷用加熱炉 2 1 を出た光ファイバ 3 は、外径測定器 5 1 により外径がオンラ

イン測定され、その測定値が光ファイバを引き取る装置（図示せず）を回転駆動する駆動モータ（図示せず）にフィードバックされて外径が一定となるように制御される。このように、外径測定器 5 1 は徐冷用加熱炉 2 1 の下流に設置することが好ましい。線引き炉 1 1 の直下に外径測定器 5 1 を設置した場合には、そこで光ファイバ 3 の温度が下がりすぎて徐冷による効果がなくなってしまうからである。

【 0 0 3 3 】

その後、光ファイバ 3 は強制冷却装置 5 2 により数十℃程度まで冷却される。この強制冷却装置 5 2 は、光ファイバ 3 が通る細長い管に室温以下のガス（たとえば H e ガス）を流すように構成されている。強制冷却装置 5 2 により冷却された光ファイバ 3 に、コーティングダイス 5 3 により U V 樹脂 5 4 を塗布し、樹脂硬化部 3 1 の U V ランプ 3 2 により U V 樹脂 5 4 が硬化され、光ファイバ素線 4 となる。そして、光ファイバ素線 4 は、ガイドローラ 6 1 を経て、ドラムにより巻き取られる。なお、U V 樹脂 5 4 の代わりに熱硬化樹脂を用い、この熱硬化樹脂を加熱炉により硬化させるように構成してもよい。

【 0 0 3 4 】

次に、図 2 に基づいて、上述した線引き装置 1 を用いて行った実験の結果について説明する。これらの実験において共通の条件は、以下のとおりである。光ファイバ母材 2 から外径 1 2 5 μ m の光ファイバ 3 を線引きした。線引き炉の温度は、炉心管内周面（光ファイバ母材 2 あるいは光ファイバ 3 の表面と対向する面）の表面温度で 2 0 0 0 ℃程度とし、線引き速度は、4 0 0 m / 分とした。

【 0 0 3 5 】

実施例 1 ～実施例 3 は、上述した実施形態に係る光ファイバの製造方法及び製造装置による実施例であり、比較例 1 ～比較例 3 は、上述した実施形態に係る光ファイバの製造方法及び製造装置による実施例との対比のために行った比較例である。

【 0 0 3 6 】

（実施例 1）

内周直径が 2 0 m m、全長が 1 5 0 0 m m となる炉心管を有する徐冷用加熱炉

を用いて、光ファイバの線引きを行った。第1ガスとしては、 N_2 ガスを用いた。線引きする光ファイバ母材は、コア部が純石英ガラスからなり、クラッド部がフッ素添加ガラスからなり、外径が40mmのものを用いた。緩衝室41の光ファイバ3の線引き方向における長さL1は100mmとし、炉心管延長部16の光ファイバ3の線引き方向における長さL2は50mmとした。徐冷用加熱炉（炉中心の温度）の温度は、約1500℃とした。なお、徐冷用加熱炉に入る直前の光ファイバの温度（入線温度）は、光ファイバの表面温度で1800℃と推定される。従って、徐冷用加熱炉において、線引きされた光ファイバのうち温度が1800～1600℃となる部分が、徐冷用加熱炉の全長である1500mmの区間において平均約890℃/秒の徐冷速度にて冷却されたことになる。

【0037】

線引きされた光ファイバの伝送損失（波長1.55 μ mの光に対する伝送損失）を測定したところ、0.167dB/kmであり、この伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱率は、0.835dB μ m⁴/kmであった。線引きされた光ファイバの外径を測定したところ、12.5 \pm 0.15 μ mであり、「ガラス径変動」は \pm 0.15 μ mであった。また、線引きされた光ファイバ1000km当りの「スパイク」の発生回数は0回であり、「曲がり異常率」は0%であった。ここで、「曲がり異常率」とは、光ファイバの異なる箇所にて曲率半径を測定して、所定の曲率半径（本実施例では、4.2m）以上の部分を不良として、測定箇所の数n（本実施例では、n=10）に対する不良が検出された箇所の数の比率を百分率にて表したものである。

【0038】

（実施例2）

実施例1と同様に、内周直径が20mm、全長が1500mmとなる炉心管を有する徐冷用加熱炉を用いて、光ファイバの線引きを行った。第1ガスとしては、Heガスを用いた。線引きする光ファイバ母材は、コア部が純石英ガラスからなり、クラッド部がフッ素添加ガラスからなり、外径が80mmのものを用いた。緩衝室41の光ファイバ3の線引き方向における長さL1は100mmとし、炉心管延長部16の光ファイバ3の線引き方向における長さL2は50mmとし

た。徐冷用加熱炉（炉中心の温度）の温度は、約 1 5 0 0℃とした。なお、徐冷用加熱炉に入る直前の光ファイバの温度（入線温度）は、光ファイバの表面温度で 1 7 2 0℃と推定される。従って、徐冷用加熱炉において、線引きされた光ファイバのうち温度が 1 7 2 0～1 5 2 0℃となる部分が、徐冷用加熱炉の全長である 1 5 0 0 m m の区間において平均約 8 9 0℃／秒の徐冷速度にて冷却されたことになる。

【 0 0 3 9 】

線引きされた光ファイバの伝送損失（波長 1 . 5 5 μ m の光に対する伝送損失）を測定したところ、0 . 1 6 8 d B ／ k m であり、この伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱率は、0 . 8 4 d B μ m⁴ ／ k m であった。線引きされた光ファイバの外径を測定したところ、1 2 5 ± 0 . 1 5 μ m であり、「ガラス径変動」は ± 0 . 1 5 μ m であった。また、線引きされた光ファイバ 1 0 0 0 k m 当りの「スパイク」の発生回数は 0 回であり、「曲がり異常率」は 0 % であった。

【 0 0 4 0 】

（比較例 1）

図 3 に示されるように、緩衝室 4 1 （第 1 緩衝室 4 2 及び第 2 緩衝室 4 5）を取り外した構成にて光ファイバの線引きを行った。これ以外の実験条件は、実施例 1 と同じである。

【 0 0 4 1 】

線引きされた光ファイバの伝送損失（波長 1 . 5 5 μ m の光に対する伝送損失）を測定したところ、0 . 1 6 8 d B ／ k m であり、この伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱率は、0 . 8 4 d B μ m⁴ ／ k m であった。線引きされた光ファイバの外径を測定したところ、1 2 5 ± 0 . 8 μ m であり、「ガラス径変動」は ± 0 . 8 μ m であった。また、線引きされた光ファイバ 1 0 0 0 k m 当りの「スパイク」の発生回数は 0 回であり、「曲がり異常率」は 2 0 % であった。

【 0 0 4 2 】

（比較例 2）

図4に示されるように、徐冷用加熱炉21を炉心管延長部16に気密に直結させた構成にて光ファイバの線引きを行った。これ以外の実験条件は、実施例1と同じである。ただし、徐冷用加熱炉21が線引き炉11に直結して設けられているので、徐冷用加熱炉21（炉心管23）には線引き炉11から N_2 ガスが流れ込み、徐冷用加熱炉21（炉心管23）内は N_2 ガスからなる雰囲気となっている。

【0043】

線引きされた光ファイバの伝送損失（波長 $1.55\mu m$ の光に対する伝送損失）を測定したところ、 0.167 dB/km であり、この伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱率は、 $0.835\text{ dB}\mu m^4/\text{km}$ であった。線引きされた光ファイバの外径を測定したところ、 $125\pm 0.15\mu m$ であり、「ガラス径変動」は $\pm 0.15\mu m$ であった。また、線引きされた光ファイバ 1000 km 当りの「スパイク」の発生回数は12回であり、「曲がり異常率」は0%であった。

【0044】

（比較例3）

比較例2の構成において、徐冷用加熱炉21（ヒータ22）による加熱（徐冷）を行わない状態で光ファイバの線引きを行った。これ以外の実験条件は、実施例1と同じであるが、比較例2と同様に、徐冷用加熱炉21が線引き炉11に直結して設けられているので、徐冷用加熱炉21（炉心管23）には線引き炉11から N_2 ガスが流れ込み、徐冷用加熱炉21（炉心管23）内は N_2 ガスからなる雰囲気となっている。

【0045】

線引きされた光ファイバの伝送損失（波長 $1.55\mu m$ の光に対する伝送損失）を測定したところ、 0.171 dB/km であり、この伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱率は、 $0.855\text{ dB}\mu m^4/\text{km}$ であった。線引きされた光ファイバの外径を測定したところ、 $125\pm 0.15\mu m$ であり、「ガラス径変動」は $\pm 0.15\mu m$ であった。また、線引きされた光ファイバ 1000 km 当りの「スパイク」の発生回数は1回であり、「曲がり異常

率」は0%であった。

【0046】

(実施例3)

実施例2の構成において、第2ガスとして空気の代わりにHeガスを用いて、光ファイバの線引きを行った。これ以外の実験条件は、実施例2と同じである。

【0047】

線引きされた光ファイバの伝送損失(波長 $1.55\mu\text{m}$ の光に対する伝送損失)を測定したところ、 0.169 dB/km であり、この伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱率は、 $0.845\text{ dB}\mu\text{m}^4/\text{km}$ であった。線引きされた光ファイバの外径を測定したところ、 $125\pm 0.15\mu\text{m}$ であり、「ガラス径変動」は $\pm 0.15\mu\text{m}$ であった。また、線引きされた光ファイバ 1000 km 当りの「スパイク」の発生回数は0回であり、「曲がり異常率」は0%であった。

【0048】

以上のように、実施例1及び実施例2においては、レイリー散乱率が $0.835\sim 0.84\text{ dB}\mu\text{m}^4/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光に対する伝送損失が $0.167\sim 0.168\text{ dB/km}$ となり、徐冷を行わない比較例3のレイリー散乱率が $0.855\text{ dB}\mu\text{m}^4/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光に対する伝送損失が 0.171 dB/km と比べて、レイリー散乱率を低減して、伝送損失を低減することができた。

【0049】

また、実施例1～実施例3においては、「ガラス径変動」が $\pm 0.15\mu\text{m}$ 、「曲がり異常率」が0%となり、緩衝室41を取り外して線引き炉11と徐冷用加熱炉21との間に間隔L1を有した状態で線引きを行った比較例1の「ガラス径変動」が $\pm 0.8\mu\text{m}$ 、「曲がり異常率」が20%と比べて、「ガラス径変動」の発生、及び、光ファイバの曲がりの悪化を抑制することができた。

【0050】

また、実施例1～実施例3においては、光ファイバ 1000 km 当りの「スパイク」の発生回数が0回となり、線引き炉11と徐冷用加熱炉21とを直結した

状態で線引きを行った比較例 2 の光ファイバ 1 0 0 0 k m 当りの「スパイク」の発生回数が 1 2 回と比べて、「スパイク」の発生を抑制することができた。

【 0 0 5 1 】

また、線引きする光ファイバ母材の太径（外径 8 0 m m）とした実施例 2 及び実施例 3 においては、第 1 ガスとして H e ガスを用いて、「ガラス径変動」の発生を抑制することができた。これは、熱伝導率の高い H e ガスの方が、線引き炉内の自然対流を抑制する効果が高いためと予想される。

【 0 0 5 2 】

また、実施例 3 が実施例 2 よりも伝送損失が大きくなったのは、徐冷用加熱炉内に H e ガスを流すと、炉の上下端において、H e ガスが設定温度に達しておらず、光ファイバが急に冷却されたためと考えられる。

【 0 0 5 3 】

また、図 4 に示されるように、徐冷用加熱炉 2 1 を線引き炉 1 1（炉心管延長部 1 6）に気密に直結させる構成とした場合には、以下のような問題が生じる。

①線引き炉に徐冷用加熱炉を直結するため、徐冷用加熱炉は線引き炉と同様の構造としなければならず、装置が大掛かりなものになってしまう（たとえば、カーボンヒータを採用して炉を水冷しなければならなくなる）。それに伴って、ヒータや炉心管等のメンテナンスが難しくなる。

②太径の光ファイバ母材を線引きする場合には、線引き炉にはガラス径安定化のため H e ガスを用い、徐冷用加熱炉にはファイバ冷却を抑制するために N₂ ガスあるいは空気を用いることが好ましい。しかしながら、線引き炉と徐冷用加熱炉とを直結した場合には、使用できるガスは 1 種類に限定されるため、上述したように 2 種類のガスを用いることはできない。

【 0 0 5 4 】

このように、上述した実験結果からも明らかなように、本実施形態に係る光ファイバの製造方法及び製造装置においては、線引き炉 1 1 にて加熱線引きされた後 UV 樹脂 5 3 を被覆する前の光ファイバ 3 を 1 2 0 0 ～ 1 7 0 0 ℃ の範囲内の温度にて加熱する徐冷用加熱炉 2 1 が設けられているので、上述した光ファイバ 3 のうち、その温度が 1 2 0 0 ～ 1 7 0 0 ℃ となる部分の所定区間における冷却

速度が遅くなることにより、原子配列の乱雑さが低減されるので、加熱線引きからUV樹脂53の被覆までの間で、レイリー散乱強度を低減して伝送損失が低くされた光ファイバ3を製造することが可能となる。また、線引き後のUV樹脂53を被覆する前の光ファイバ3の冷却速度を制御することによりレイリー散乱強度の低減を図っているので、上述した先行技術のような再加熱のための熱処理が不要となり、表面にUV樹脂53が硬化、被覆された光ファイバ素線4の量産に極めて容易に適用することが可能となる。

【0055】

また、徐冷用加熱炉21を線引き炉11との間に所定の間隔L1を有して設け、更に、この徐冷用加熱炉21と線引き炉11との間を、線引き炉11（炉心管13）内の雰囲気ガスとなる第1ガス及び徐冷用加熱炉21（炉心管23）内の雰囲気ガスとなる第2ガスが混在する緩衝室41（第1緩衝室42及び第2緩衝室45）としているため、線引き炉11内にて発生するダストが徐冷用加熱炉21内に入ることが抑えられることになり、「スパイク」の発生、あるいは、光ファイバ3の強度の低下を抑制することができる。

【0056】

また、緩衝室41（第1緩衝室42及び第2緩衝室45）の存在により、線引き炉11と徐冷用加熱炉21との間での外気の流れの乱れの影響が受け難くなるために、「ガラス径変動」の発生、あるいは、光ファイバ3の曲がりの悪化も抑制することができる。

【0057】

また、緩衝室41（第1緩衝室42及び第2緩衝室45）は、複数の排出穴44が形成された隔壁43及び複数の排出管47が形成された隔壁46とを有しているため、外気の流れの乱れの影響をより確実に抑え、「ガラス径変動」の発生、あるいは、光ファイバ3の曲がりの悪化をより一層抑制することができる。また、排出穴44及び排出管47により線引き炉11（炉心管13）側から流れ込む第1ガスを排出することで、線引き炉11内にて発生するダストが徐冷用加熱炉21（炉心管23）内に入ることが更に抑えられることになり、「スパイク」の発生、あるいは、光ファイバ3の強度の低下もより一層抑制することができる。

【 0 0 5 8 】

また、第 2 ガスとして、第 1 ガスの熱伝導率と同等若しくは第 1 ガスの熱伝導率より低い熱伝導率を有するガスを用いることにより、特に、第 1 ガスとして H e ガスを用い、第 2 ガスとして N₂ ガスあるいは空気を用いることにより、比較的太径の光ファイバ母材 2 を用いて線引きする場合において、安定して線引きが行えると共に、伝送損失が低くされた光ファイバ 3 の製造が可能となる。

【 0 0 5 9 】

また、線引きされた光ファイバ 3 の緩衝室 4 1（第 1 緩衝室 4 2）への入線温度を、1 4 0 0 ～ 1 9 0 0℃の範囲内の温度とすることが好ましい。このように線引きされた光ファイバ 3 の緩衝室 4 1 への入線温度を 1 4 0 0 ～ 1 9 0 0℃の範囲内の温度とすることにより、線引きされた光ファイバ 3 が高温の状態で徐冷用加熱炉 2 1 に入り、この徐冷用加熱炉 2 1 にて線引きされた光ファイバ 3 が比較的高温の状態から徐冷されることになり、光ファイバ 3 の伝送損失を低くすることができる。

【 0 0 6 0 】

なお、本実施形態においては、緩衝室 4 1 を第 1 緩衝室 4 2 及び第 2 緩衝室 4 5 にて構成しているが、これに限られることなく、1 つの緩衝室を設けるように構成してもよく、また、3 つ以上の緩衝室を設けるように構成してもよい。

【 0 0 6 1 】

また、炉心管延長部 1 6 と保護管 2 1 との間にガス混在層がある限り、緩衝室 4 1 自体も、必ずしも設ける必要はない。この場合には、線引き炉 1 1（炉心管延長部 1 6）と徐冷用加熱炉 2 1 とを近接して設ける、たとえば線引き炉 1 1（炉心管延長部 1 6）と徐冷用加熱炉 2 1 との間隔 L 1 を 1 0 m m 程度とすることにより、線引き炉 1 1 と徐冷用加熱炉 2 1 との間の空間が、線引き炉 1 1（炉心管 1 3）内の雰囲気ガスとなる第 1 ガス及び徐冷用加熱炉 2 1（炉心管 2 3）内の雰囲気ガスとなる第 2 ガスが混在してガス混在層が形成されて、実質的に外気から区画された状態となり、緩衝室 4 1 を設けた場合と同様の作用効果を奏することになる。なお、緩衝室 4 1 を設けない構成において、第 1 ガスとして H e ガ

スを用いた場合には、He ガスの下方に侵入すると光ファイバ 3 が冷却されるので、He ガスの下方への侵入を防止するための隔壁等を設けるのが好ましい。但し、緩衝室 4 1 内の圧力を外気圧よりも高くして、外気の流れの乱れを受け難くすることを確実に行うことができるという点で、緩衝室 4 1 を設けた構成を採用する方が好ましい。

【0 0 6 2】

また、本実施形態においては、徐冷用加熱炉 2 1 のヒータ 2 2 を第 1 ヒータ 2 2 a、第 2 ヒータ 2 2 b 及び第 3 ヒータ 2 2 c にて構成しているが、ヒータの数はこれに限られることなく、1 体のヒータにより構成するようにしてもよく、また、4 体以上のヒータにより構成するようにしてもよい。

【0 0 6 3】

また、本発明は、上述した実施例において用いた、コア部が純石英ガラスからなり、クラッド部がフッ素添加ガラスからなる光ファイバ母材以外に、たとえばコア部に Ge が添加された Ge 添加光ファイバ母材の線引きに対しても適用することができる。

【0 0 6 4】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、レイリー散乱強度の低減により、伝送損失が低くされた光ファイバを製造するに際して、光ファイバ素線の量産に適用することが可能な光ファイバの製造方法及び製造装置を実現することができる。

【0 0 6 5】

また、線引き炉内にて発生するダストが加熱炉内に入ることが抑えられることになり、「スパイク」の発生、あるいは、光ファイバの強度の低下を抑制することができる。また、ガス混在層の存在により、線引き炉と加熱炉との間での外気の流れの乱れの影響が受け難くなるために、「ガラス径変動」の発生、あるいは、光ファイバの曲がりの悪化も抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明による光ファイバの製造方法及び製造装置の実施形態を示す概略構成図である。

【図 2】

本発明による光ファイバの製造方法及び製造装置による実施例と比較例を示す図表である。

【図 3】

比較例による光ファイバの製造方法及び製造装置を示す概略構成図である。

【図 4】

比較例による光ファイバの製造方法及び製造装置を示す概略構成図である。

【図 5】

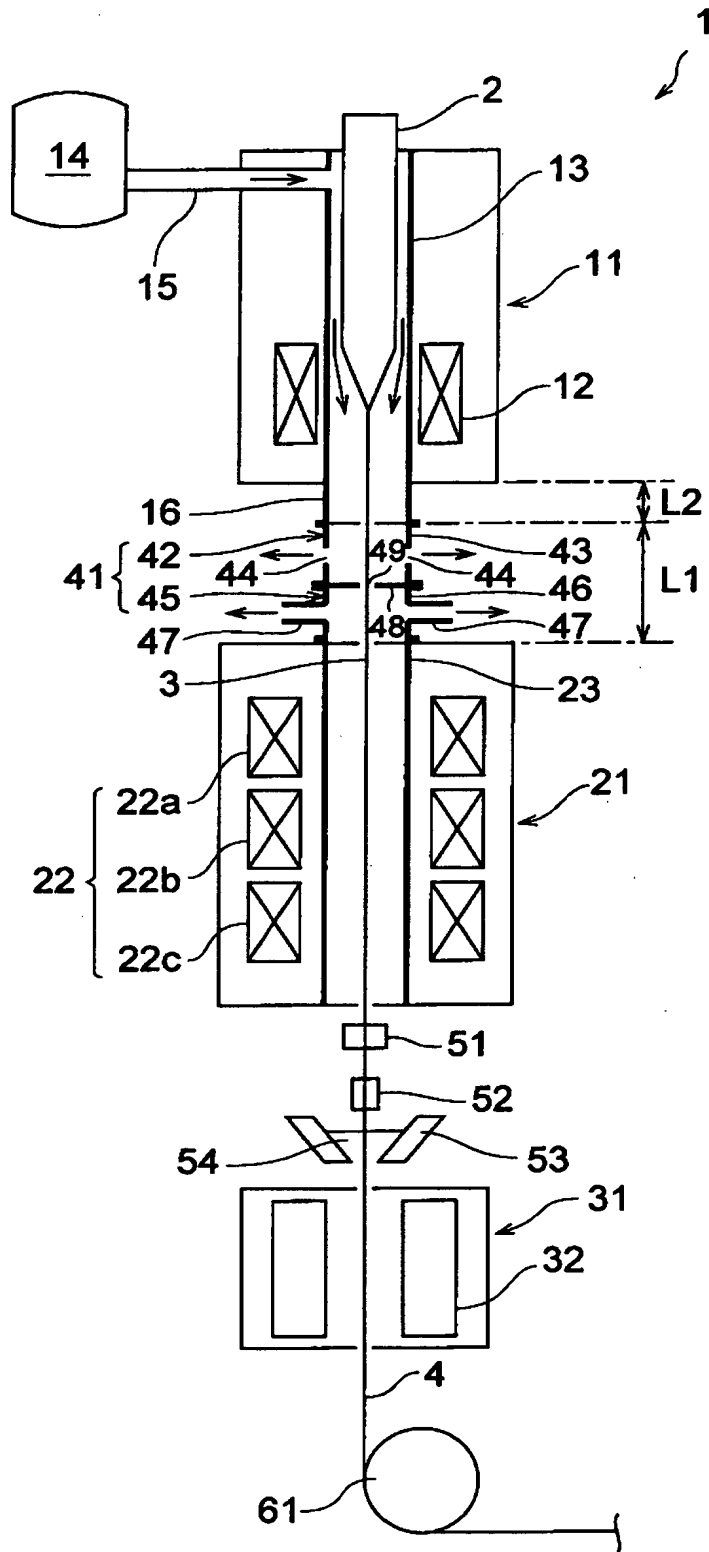
レイリー散乱率と光ファイバの冷却速度との関係を示す図表である。

【符号の説明】

1 …線引き装置、2 …光ファイバ母材、3 …光ファイバ、4 …光ファイバ素線、1 1 …線引き炉、1 2 …ヒータ、1 3 …炉心管、1 4 …第 1 ガス供給部、1 5 …ガス供給通路、1 6 …炉心管延長部、2 1 …徐冷用加熱炉、2 2 …ヒータ、2 3 …炉心管、3 1 …樹脂硬化部、4 1 …緩衝室、4 2 …第 1 緩衝室、4 3 …隔壁、4 4 …排出穴、4 5 …第 2 緩衝室、4 6 …隔壁、4 7 …排出管、4 8 …仕切り壁、4 9 …光ファイバ通過穴、5 1 …外径測定器。

【書類名】 図面

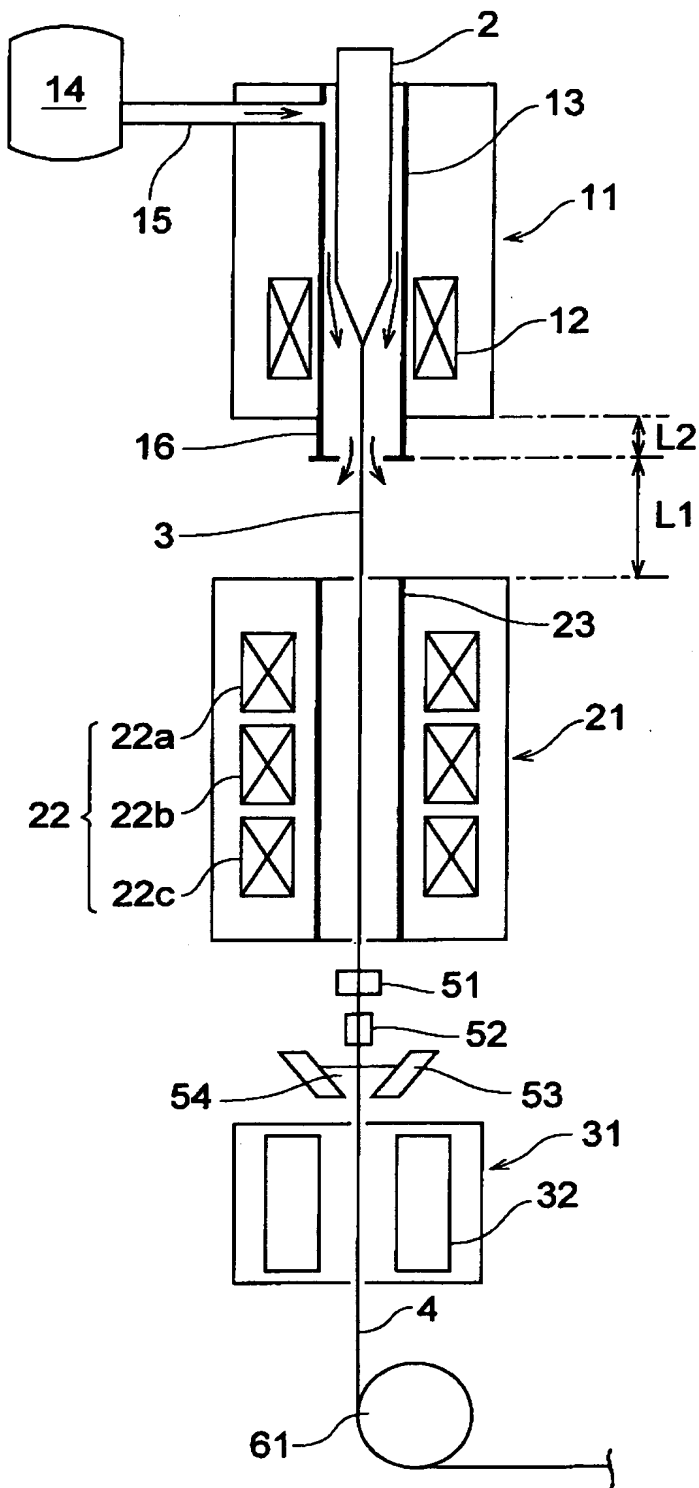
【図 1】



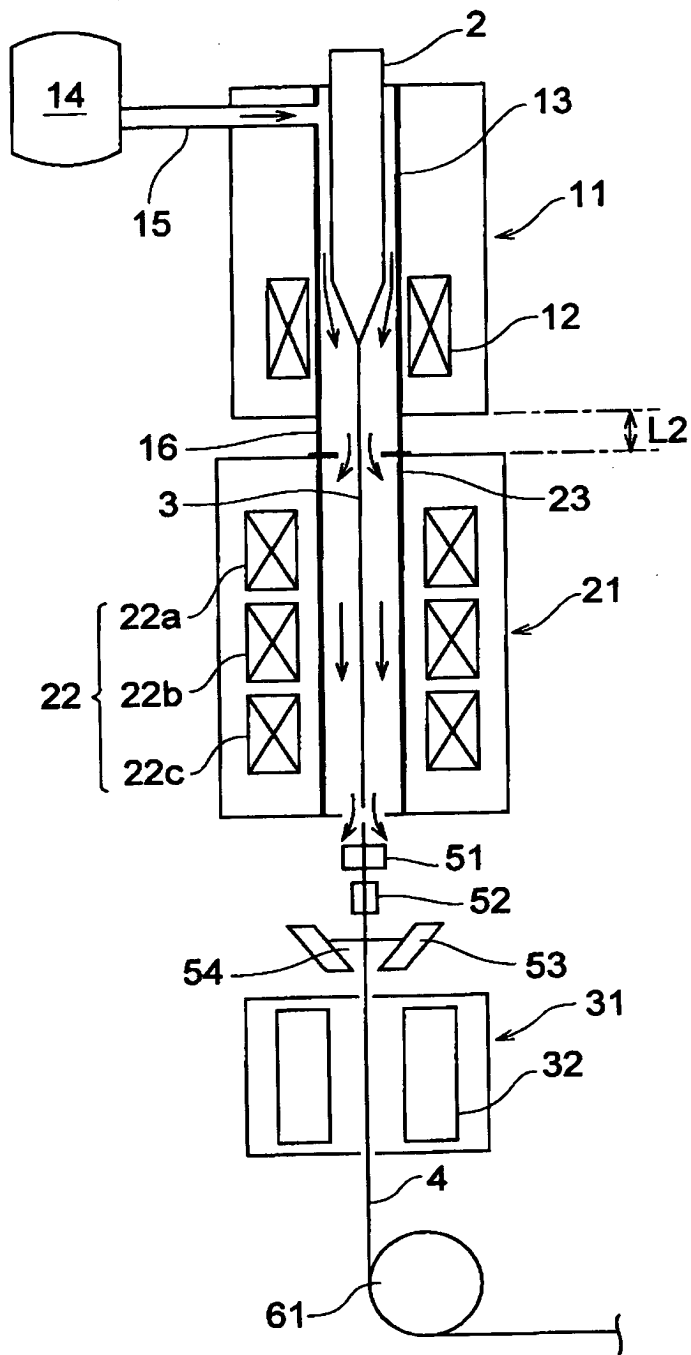
【図 2】

	光ファイバ 母材外径 (mm)	第1 ガス	第2 ガス	線引き 速度 (m/分)	ガラス 径変動 (μm)	曲り 異常率 (%)	スパイク 回数 (回)	伝送損失 (dB/km)	レーザ 散乱係数 (dB $\mu\text{m}^4/\text{km}$)
実施例1	40	N ₂	空気	400	± 0.15	0	0	0.167	0.835
実施例2	80	He	空気	400	± 0.15	0	0	0.168	0.84
実施例3	80	He	He	400	± 0.15	0	0	0.169	0.845
比較例1	40	N ₂	空気	400	± 0.8	20	0	0.168	0.84
比較例2	40	N ₂	N ₂	400	± 0.15	0	12	0.167	0.835
比較例3	40	N ₂	N ₂	400	± 0.15	0	1	0.171	0.855

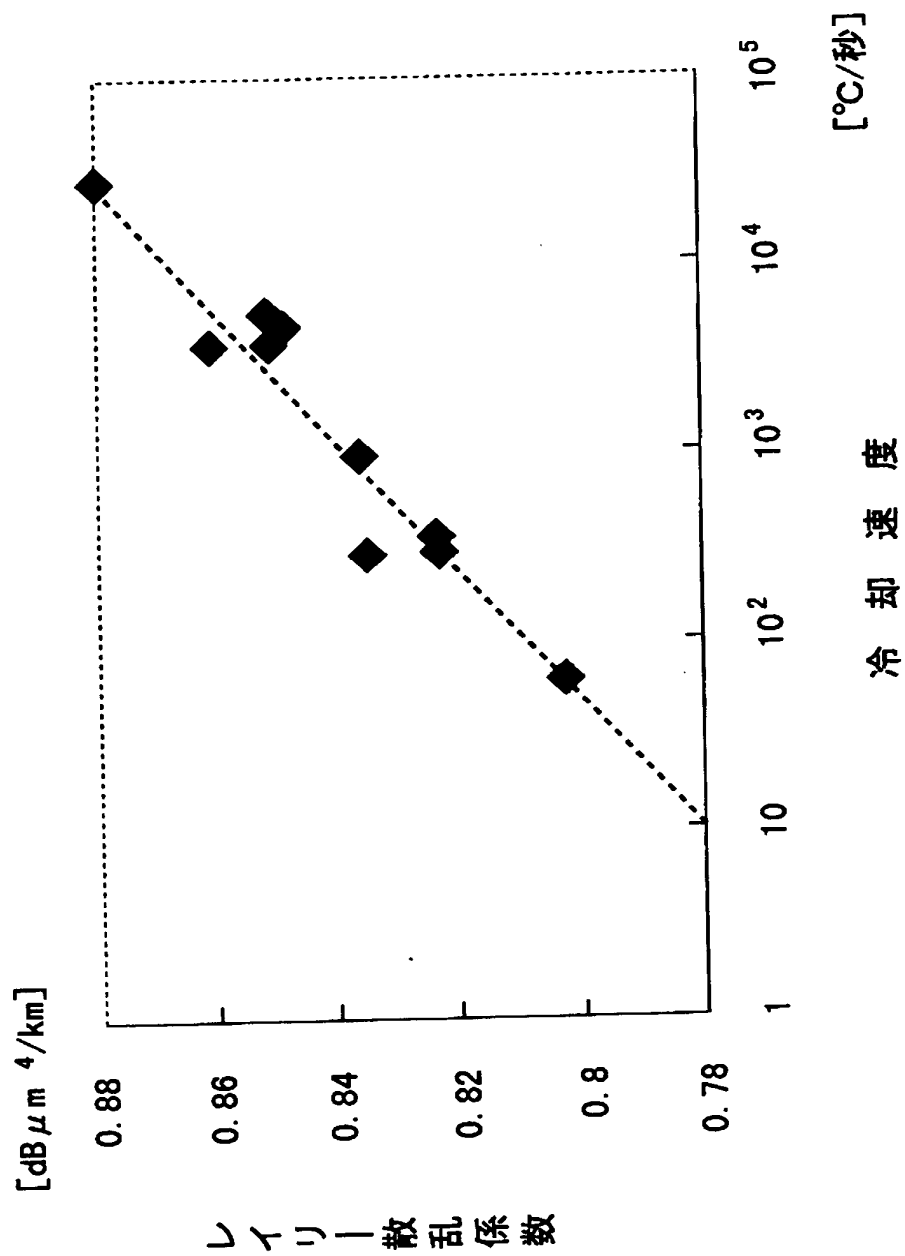
【図 3】



【図4】



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 レイリー散乱強度を低減し、伝送損失の低い光ファイバを製造するに際して、光ファイバ素線の量産に適用することが可能な光ファイバの製造方法を提供すること。

【解決手段】 線引き炉 1 1 と徐冷用加熱炉 2 1 との間には、緩衝室 4 1 が設けられており、この緩衝室 4 1 の光ファイバ 3 の線引き方向における長さは、L 1 とされている。緩衝室 4 1 は、第 1 緩衝室 4 2 と第 2 緩衝室 4 5 とで構成されている。緩衝室 4 1（第 1 緩衝室 4 2 及び第 2 緩衝室 4 5）の内部空間は、線引き炉 1 1（炉心管 1 3）内の雰囲気ガスである第 1 ガスと、徐冷用加熱炉 2 1（炉心管 2 3）内の雰囲気ガスである空気とが混在している。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名	住友電気工業株式会社